

ANALISIS NILAI KALOR SERTA LAJU UAP DARI BOILER DENGAN VARIASI KOMPOSISI BERAT SAMPAH ORGANIK DAN ANORGANIK PADA PLTSA

Dewa Putu Satria Adi Luhur¹, Cok Gede Indra Partha², I Wayan Sukerayasa³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

³Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit, Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80361

Email : adiluhur807@gmail.com¹, cokindra@unud.ac.id², sukerayasa@unud.ac.id³

ABSTRAK

Provinsi Bali menghasilkan sampah sebanyak 2.814,89 ton per hari atau 1.027.433,75 ton per tahun pada tahun 2023. Sampah merupakan masalah yang masih sulit untuk diatasi. Kabupaten Badung merupakan salah satu pemasok sampah yang cukup besar di Provinsi Bali, di Kabupaten Badung, sampah yang dihasilkan mencapai 195.222,46 ton per tahun. TPST 3R Legian Kaja adalah salah satu fasilitas pengelolaan sampah yang berlokasi di Kabupaten Badung. TPST ini mampu melakukan pengelolaan sampah sebesar 16 ton per hari. Salah satu metode yang digunakan adalah insinerasi atau pembakaran sampah. Selama proses pembakaran, energi panas yang dihasilkan sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Namun energi panas yang dihasilkan tidak dimanfaatkan, sehingga terdapat potensi pemborosan energi panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tekanan uap yang dihasilkan oleh *boiler* berkapasitas 9 liter air dan 10 kg variasi sampah pada *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif deskriptif. Pada penelitian ini menggunakan 3 variasi komposisi dari 10 kg sampah, nilai kalor tertinggi didapat dari variasi 7 kg sampah organik + 3 kg sampah anorganik, menggunakan *boiler* dengan kapasitas 9 liter air dan tekanan uap 3 bar diperoleh daya sebesar 405 Watt.

Kata kunci : Sampah, PLTSA, *Boiler*, Kadar Air

ABSTRACT

Bali Province produces 2,814.89 tons of waste per day or 1,027,433.75 tons per year in 2023. Waste is a problem that is still difficult to overcome. Badung Regency is one of the largest suppliers of waste in Bali Province, in Badung Regency, the waste produced reaches 195,222.46 tons per year. TPST 3R Legian Kaja is one of the waste management facilities located in Badung Regency. This TPST is capable of managing 16 tons of waste per day, one of the methods used is incineration or burning waste. During the combustion process, the heat energy produced can actually be used to generate electricity. However, the heat energy produced is not utilized, so there is potential for waste of heat energy. This study aims to determine the steam pressure produced by a boiler with a capacity of 9 liters of air and 10 kg of waste variation in the Waste Power Plant (PLTSA) prototype. The method used in this study is quantitative descriptive. In this study, using 3 variations of composition from 10 kg of waste, the highest calorific value was obtained from the variation of 7 kg of organic waste + 3 kg of inorganic waste, using a boiler with a capacity of 9 liters of air and a steam pressure of 3 bars, a power of 405 Watts was obtained.

Key Words : Waste, PLTSA, *Boiler*, Water Content

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan salah satu permasalahan yang sedang dicari solusinya. Provinsi Bali menghasilkan sampah sebanyak 2.814,89 ton per hari atau 1.027.433,75 ton per tahun pada tahun 2023. Kabupaten Badung menjadi salah satu daerah penyumbang sampah terbesar di Provinsi Bali, dengan jumlah sampah yang dihasilkan mencapai 534,86 ton per hari atau 195.222,46 ton per tahun.

TPST (Tempat Pengolahan Sampah Terpadu) 3R Legian Kaja adalah salah satu fasilitas pengelolaan sampah yang berlokasi di Kabupaten Badung. Proses masuknya sampah dimulai dengan sampah dikumpulkan dari berbagai sumber seperti rumah tangga, pasar, hotel dan tempat umum. Truk sampah membawa sampah ini ke TPST. Sampah yang tiba di TPST segera dipilah oleh petugas untuk memisahkan antara sampah bernilai, dan tidak bernilai. TPST 3R Legian Kaja mampu melakukan pengelolaan sampah sebesar 16 ton per hari. Data ini diperoleh dari hasil survei terhadap empat truk yang secara rutin keluar masuk setiap harinya, dengan setiap truk mengangkut sekitar 4 ton sampah. Sehingga, total sampah yang masuk ke TPST 3R Legian Kaja setiap hari mencapai 16 ton.

Penelitian ini dilakukan di TPST 3R karena terdapat beberapa tahapan dalam pengolahan sampah, termasuk pengumpulan, pemilahan, dan pengolahan akhir. Salah satu metode yang digunakan di TPST ini adalah insinerasi atau pembakaran sampah. Metode ini melibatkan pembakaran sampah pada suhu tinggi untuk mengurangi volume dan massa sampah secara signifikan. Selama proses pembakaran, energi panas yang dihasilkan sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Faktanya energi panas yang dihasilkan tidak dimanfaatkan sepenuhnya, sehingga terdapat potensi pemborosan energi panas.

Pembangkit listrik tenaga sampah (PLT_{Sa}) merupakan teknologi yang mengubah sampah menjadi energi listrik melalui proses pembakaran atau konversi

termal. Teknologi ini tidak hanya membantu mengurangi volume sampah, tetapi juga menghasilkan energi listrik yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat.

Penelitian ini meneliti tentang sampah organik dan anorganik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampah di Indonesia memiliki nilai kalor yang cukup tinggi, dengan kedua jenis sampah tersebut memiliki potensi energi yang tinggi. Dalam penelitian ini, kadar air sampah organik ditetapkan sebesar 10%, sedangkan sampah anorganik mengikuti kadar air rata-rata sampah Indonesia, yaitu sebesar 2,28%. Nilai kalor dari bahan-bahan sampah ini akan berperan penting dalam memengaruhi laju kalor di dalam ruang bakar.[1]. Berdasarkan permasalahan diatas, akan dilaksanakan penelitian di TPST 3R Legian Kaja, berdasarkan data tersebut maka dilakukan penelitian analisis nilai kalor serta laju uap yang di hasilkan dari variasi 10 kg komposisi sampah organik dan anorganik dengan 9 liter air pada boiler.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sampah

Berdasarkan UU Nomor 18 Tahun 2008 pasal 1, sampah merupakan material sisa kegiatan manusia dan proses yang terjadi di alam dalam wujud padat. Sampah juga didefinisikan sebagai bahan sisa dari kegiatan manusia yang sudah tidak terpakai karena fungsi utamanya telah terambil [6]. Penelitian yang dilakukan oleh BPTT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) mengungkapkan bahwa sampah organik biasanya mencapai 70-80% dari total sampah. Selain itu, nilai kalor sampah ini berkisar antara 1.000 hingga 1.500 Kkal/kg, dengan kandungan udara sebesar 50-60% [1] [2]. Karakteristik sampah di Indonesia bisa dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik sampah di Indonesia [1]

No	Komponen	%	Kadar air (%)	Nilai kalor (Kkal/kg)
1	Organik	73,98	47,08	647,57
2	Plastik	7,86	2,28	555,46
3	Karet	0,55	0,02	7,6
4	Kain	1,57	0,63	42,64
5	Kaca	1,75	-	-
6	Logam	2,04	-	-
7	Kayu	0,98	0,32	38,28
8	Kertas	10,18	4,97	235,55
TOTAL		100	55,3	1553,96

Berdasarkan tabel 1, karakteristik sampah di Indonesia, kadar air sampah organik yaitu 47,08% sedangkan pada penelitian ini menggunakan sampah organik dengan kadar air ditetapkan sebesar 10%, mengacu pada rata-rata kadar air produk RDF yang diterima oleh PLTU dan industri semen, yang umumnya berada di bawah 20% [3].

2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) memanfaatkan sampah sebagai sumber energi listrik. Fasilitas ini mengubah sampah menjadi listrik melalui proses termal uap *supercritical steam*. Di pembangkit ini, bahan bakar sampah dibakar untuk menghasilkan panas, yang selanjutnya memanaskan air dalam ketel uap steam *supercritical*. Uap bertekanan tinggi yang dihasilkan menggerakkan turbin yang terhubung ke generator, yang pada akhirnya menghasilkan listrik [4].

2.3 Komponen Prototype PLTSa

Prototype PLTSa tersusun dari beberapa komponen yang memiliki peran dan saling terkait satu sama lain :

1. Ruang Bakar atau Insinerator

Ruang bakar atau insinerator adalah komponen utama dalam PLTSa di mana proses pembakaran sampah berlangsung. Sampah dikirim ke ruang bakar dan dibakar pada suhu yang sangat tinggi, sering kali mencapai lebih dari 850°C (1562°F). Pembakaran ini mengurangi volume sampah secara signifikan, biasanya lebih dari 90%, sehingga hanya tersisa abu dan residu yang jauh lebih sedikit. Panas yang dihasilkan dari pembakaran sampah digunakan untuk memanaskan air dalam *boiler* [5].

2. Boiler

Boiler adalah suatu perangkat yang digunakan untuk menghasilkan uap atau panas air. *Boiler* berguna untuk mengubah air menjadi uap yang kemudian digunakan untuk menggerakkan turbin uap [6].

3. Turbin Uap

Turbin uap digunakan untuk mengubah energi panas dari uap air menjadi energi mekanis. Uap air diarahkan ke sudu-sudu turbin, dan tekanan serta kecepatan uap tersebut membuat turbin berputar. Turbin

uap sering digunakan dalam pembangkit listrik tenaga uap dan industri yang membutuhkan tenaga mekanis [7].

4. Generator

Generator adalah komponen yang mengubah energi mekanis dari turbin uap menjadi energi listrik. Generator digunakan untuk menghasilkan listrik dengan prinsip induksi elektromagnetik [8].

2.4 Ruang Bakar

Ruang bakar merupakan komponen utama dalam PLTSa di mana proses pembakaran sampah berlangsung. Pada penelitian ini menggunakan 10 kg dari variasi sampah organik dan anorganik yang telah dijelaskan, dengan menggunakan sampel sampah kering dengan kadar air 10% untuk sampah organik dan 2,28% untuk sampah anorganik.

Berikut merupakan rumus yang digunakan dalam menghitung laju panas di ruang bakar [1] :

- a. Menghitung nilai kalor sampah [1] :

Keterangan :

$$Q_{kering} = \frac{Q_{basah}}{1 - \frac{kadar\ air}{100}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

Q_{kering} = nilai kalor kering (Kkal/kg).
 Q_{basah} = nilai kalor basah (Kkal/kg).
 Kadar air = kadar air bahan bakar dalam persen (%)

- b. Menghitung nilai kalor sampah pada persentase kadar air 10% [1] :

$$Q = Q_{kering} \times 1 - \frac{kadar\ air}{100} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

Q_{kering} = nilai kalor kering (Kkal/kg).
 Q_{basah} = nilai kalor basah (Kkal/kg).
 Kadar air = kadar air bahan bakar dalam persen (%)

- c. Menghitung laju panas yang keluar dari insinerator [1] :

$$\eta = \frac{Q}{Q_{laju\ panas}} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

η = Efisiensi ketel (%)
 $Q_{laju\ panas}$ = Laju panas yang keluar dari insinerator (kJ/jam)

Q = energi kalor sampah kJ/kg

- d. Menghitung jumlah kalor yang keluar dari insinerator [1]:

$$Q_{laju\ panas} = Q \times \eta \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

η = Efisiensi ketel (80%)

$Q_{laju\ panas}$ = Laju panas yang keluar dari insinerator (kJ/jam)

Q = energi kalor sampah kJ/kg

- e. Menghitung Aliran Massa Uap [1]:

$$M = \frac{Q_{laju\ panas}}{h_2 - h_1} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

M = Laju aliran uap keluar dari boiler (kg/jam)

$Q_{laju\ panas}$ = Laju panas yang keluar dari insinerator (kJ/kg)

h_1 = *Enthalpy* air masuk boiler (kJ/kg)

h_2 = *Enthalpy* air keluar boiler (kJ/kg)

- f. Menghitung daya termal yang dihasilkan bahan bakar [1]:

$$P = \frac{Q}{t} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

P = Daya termal (W)

Q = Energi kalor sampah (kJ/kg)

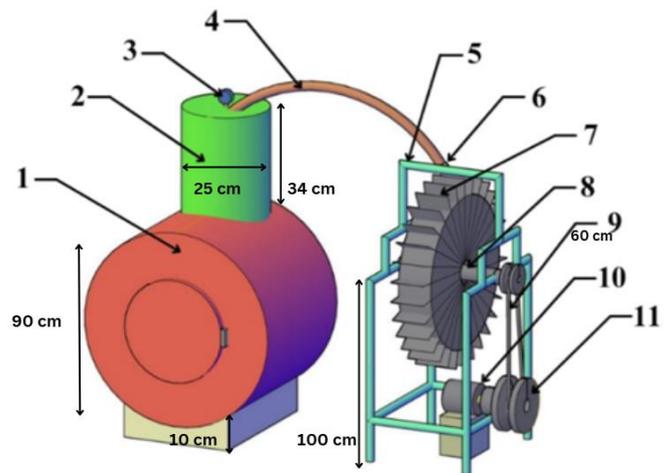
t = Waktu (s)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Observasi pengambilan data dilakukan di TPST 3R Legian Kaja, yang terletak di Jl. Dewi Ratih, Legian, Kec. Kuta, Kabupaten Badung, Bali. Pengerjaan *Capstone Project* dilakukan di Jl. Sulatri Gg. III, Kesiman, Denpasar, sedangkan pengukuran kadar air sampah organik berlangsung di Laboratorium Biologi Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Udayana, Gedung Agrokomplek Lantai 2, Jln. P.B. Sudirman, Dauh Puri Klod, Kota Denpasar.

Perencanaan sistem prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) menetapkan beberapa variabel tetap untuk memastikan konsistensi dalam analisis dan perhitungan. Parameter yang digunakan meliputi tekanan uap 3 bar,

diameter pipa 12 mm, dan panjang pipa 1 meter. Kapasitas boiler mencapai 9 liter, sementara diameter runner turbin ditetapkan 54 cm. Sistem ini mengolah 10 kg sampah, dengan kadar air sampah organik 10% dan sampah anorganik 2,28%. Variabel-variabel tersebut menjadi dasar perancangan dan evaluasi kinerja sistem untuk mencapai hasil optimal. Berikut merupakan desain *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) dapat dilihat pada Gambar 1.

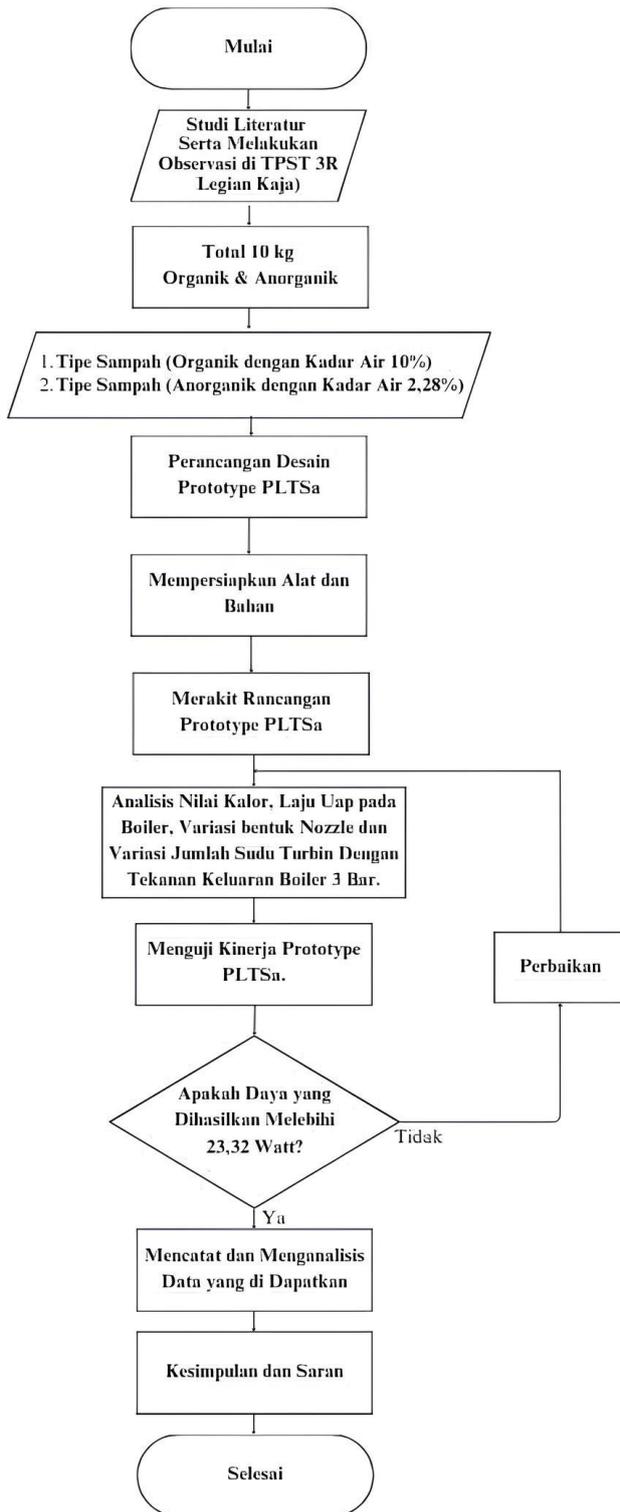


Gambar 1 Desain *Prototype* PLTSA

Keterangan :

1. Ruang pembakaran (Insinerator)
2. Boiler kapasitas 9 liter air
3. Manometer
4. Selang pipa air panas berdiameter 12 mm
5. Rangka turbin
6. Nozzle
7. Sudu turbin (65 sudu, 75 sudu, 85 sudu)
8. Poros turbin (Diameter 54 cm)
9. Belt A-60 (Diameter 60 cm)
10. Generator DC (350 Watt, 2750 RPM dan 24 Volt)
11. Pulley (1:2) masing-masing 6 cm dan 12 cm

Adapun tahap perancangan *prototype* pembangkit listrik tenaga sampah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alur Perencanaan Prototype PLTSa

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Prototype PLTSa

Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) adalah pembangkit listrik

skala kecil dengan kapasitas terbatas yang menggunakan sampah organik dan anorganik sebagai bahan bakar, serta memanfaatkan tenaga uap sebagai penggerak. Sistem ini bekerja dengan turbin impuls satu tingkat untuk menghasilkan energi listrik. Berikut merupakan realisasi prototype pembangkit listrik tenaga sampah dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Realisasi Ruang Pembakaran dan Boiler pada Prototype PLTSa

4.2 Pengukuran Kadar Air Sampah.

Pengukuran nilai kalor dan laju uap dari variasi komposisi 10 kg sampah organik dan anorganik bertujuan untuk menentukan waktu tercepat dalam mencapai tekanan uap 3 bar pada boiler berkapasitas 9 liter air. Variasi komposisi sampah terdiri dari tiga skenario, yaitu 7 kg sampah organik dan 3 kg sampah anorganik, 5 kg sampah organik dan 5 kg sampah anorganik, serta 3 kg sampah organik dan 7 kg sampah anorganik. Proses ini menggunakan alat ukur moisture meter yang berfungsi mengukur kadar air dalam sampah organik agar mencapai kadar optimal 10%. Pengukuran ini bertujuan untuk memahami bagaimana variasi komposisi sampah mempengaruhi efisiensi pembakaran dan produksi uap guna mendukung kinerja sistem Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa).



Gambar 4 Pengeringan Sampah Organik

Gambar 4 merupakan pengeringan sampah organik dilakukan di bawah sinar matahari selama 4 - 5 hari untuk mencapai kadar air 10%. Pengeringan ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pembakaran dan menghasilkan nilai kalor yang lebih optimal.



Gambar 5 Proses Pengukuran Kadar Air Sampah Organik

Setelah sampah kering dilakukan pengukuran dengan alat *moisture meter* pada Gambar 5. *Moisture meter* adalah alat ukur yang digunakan untuk menentukan kadar air dalam suatu bahan, seperti kayu, makanan, atau sampah organik. Alat ini memiliki dua elektroda atau jarum (pin) yang ditusukkan ke dalam bahan untuk mendeteksi kadar air. Arus listrik dialirkan melalui pin, dan karena air merupakan konduktor, jumlah arus yang mengalir bergantung pada kadar air dalam bahan. Semakin tinggi kadar air, semakin besar

arus yang terdeteksi, lalu hasilnya ditampilkan pada layar alat.

4.3 Perhitungan Nilai Kalor Sampah

Menghitung nilai kalor sampah dengan rumus [1] :

$$Q_{\text{kering}} = \frac{Q_{\text{basah}}}{1 - \frac{\text{kadar air}}{100}}$$

$$Q_{\text{kering}} = \frac{647,57}{1 - \frac{47,08}{100}}$$

$$Q_{\text{kering}} = \frac{647,57}{1 - 0,4708}$$

$$Q_{\text{kering}} = \frac{647,57}{0,5292}$$

$$Q_{\text{kering}} = 1.223,68 \text{ Kkal/kg}$$

Jadi, nilai kalor kering dari sampah organik dengan kadar air 47,08% adalah 1223,68 Kkal/kg. Sekarang kita bisa menggunakan nilai kalor kering ini untuk menghitung nilai kalor sampah organik dengan kadar air 10% [1] .

$$Q = Q_{\text{kering}} \times 1 - \frac{\text{kadar air}}{100}$$

$$Q = 1.223,68 \times 1 - \frac{10}{100}$$

$$Q = 1.223,68 \times 0,90$$

$$Q = 1.101,31 \text{ Kkal/kg}$$

Hasil nilai kalor dari sampah organik dengan kadar air 10% sebesar 1.101,31 Kkal/kg. Sedangkan untuk sampah anorganik tetap mengacu pada kadar air 2,28 dengan nilai kalor 555,46 Kkal/kg.

- Menghitung nilai kalor sampah (organik 7 kg dan anorganik 3 kg) :

$$\begin{aligned} Q &= Q_{\text{organik}} + Q_{\text{anorganik}} \\ &= 1.101,31 \times 7 + 555,46 \times 3 \\ &= 7.709,17 + 1.666,38 \\ &= 9.375,55 \text{ Kkal/10kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q &= 2.240,7 \text{ kJ/10kg} \\ (1 \text{ kJ/kg} &= 0,239 \text{ Kkal/kg}) \end{aligned}$$

- Menghitung nilai kalor sampah (organik 5 kg dan anorganik 5 kg) :

$$\begin{aligned} Q &= Q_{\text{organik}} + Q_{\text{anorganik}} \\ &= 1.101,31 \times 5 + 555,46 \times 5 \\ &= 5.506,55 + 2.777,3 \\ &= 8.283,85 \text{ Kkal/10kg} \\ &= 828,385 \text{ Kkal/kg} \end{aligned}$$

- = 197,98 kJ/kg
(1kJ/kg = 0,239 Kkal/kg)
- Menghitung nilai kalor sampah (organik 3 kg dan anorganik 7 kg) :
 $Q = Q_{organik} + Q_{anorganik}$
 $= 1.101,31 \times 3 + 555,46 \times 7$
 $= 3.303,93 + 3.888,22$
 $= 7.192,15 \text{ Kkal}/10\text{kg}$
 $= 719,215 \text{ Kkal}/\text{kg}$
 $= 171,89 \text{ kJ}/\text{kg}$
 (1kJ/kg = 0,239 Kkal/kg)

Perhitungan menunjukkan bahwa variasi sampah dengan komposisi 7 kg organik dan 3 kg anorganik memiliki nilai kalor tertinggi, maka digunakan variasi sampah tersebut.

4.4 Pengukuran Waktu Tercepat untuk Mencapai Tekanan 3 Bar pada Boiler dengan Variasi Komposisi Sampah yang Berbeda.

Proses pengukuran ini dilakukan untuk menentukan waktu tercepat dalam mendidihkan air dan mencapai tekanan uap 3 bar. Proses ini menggunakan alat ukur berupa manometer atau *pressure gauge* yang dipasang di bagian atas boiler untuk memantau tekanan uap, serta *stopwatch* untuk mencatat waktu pemanasan. Air dipanaskan mulai dari suhu awal 30°C hingga mencapai tekanan uap 3 bar.



Gambar 6 Pengukuran tekanan uap pada boiler dengan variasi komposisi sampah berbeda 7 kg organik + 3 kg anorganik.

Berdasarkan hasil pengukuran pada Gambar 6, terlihat bahwa variasi komposisi

sampah berpengaruh terhadap laju uap yang dihasilkan oleh boiler. Pada komposisi 7 kg sampah organik dan 3 kg sampah anorganik, boiler mencapai tekanan 3 bar dalam waktu tercepat, yaitu 18.09 menit. Setelah menentukan komposisi sampah yang paling efisien, dilakukan percobaan untuk mengukur waktu pembakaran hingga sampah habis guna memperoleh efisiensi bahan bakar sampah.



Gambar 7 Pengukuran waktu habis bahan bakar sampah

Dapat dilihat pada Gambar 7 waktu yang dibutuhkan hingga bahan bakar sampah dengan campuran 7 kg organik dan 3 kg anorganik habis tercatat selama 1 jam 32 menit. Data ini akan digunakan untuk menghitung efisiensi bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan.

Setelah dilakukan pengukuran kadar air dan waktu tercepat untuk mencapai 3 bar pada boiler pada prototipe PLTSa yang telah diuji, diperoleh data pada Tabel 2.

Tabel 2 Data Hasil Pengukuran Prototype PLTSa

No	Parameter	Nilai
1	Kadar air Sampah Organik	10 %
2	Tekanan Uap	3 Bar
3	Waktu mencapai 3 bar	18.09 menit
4	Waktu habis bahan bakar	1 jam 32 menit

4.5 Perhitungan Laju Uap Panas yang Dihasilkan Boiler, Aliran Massa Uap, Daya yang Dibangkitkan oleh Bahan Bakar.

Menghitung laju uap panas yang keluar dari boiler dengan menggunakan rumus [1] :

$$\begin{aligned} Q_{\text{laju panas}} &= 0.8 \times 2.240 \text{ kJ} \\ &= 1.792 \text{ kJ}/1.53\text{jam} \\ &= 1.168,75 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Perhitungan Aliran Massa Uap [1] :

$$\begin{aligned} M &= \frac{1.792}{2.748,7-125,79} \\ &= 0,6739603823 \text{ kg/ jam} \\ &= \frac{0,6739603823}{5.520} = 0,0001220942 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Perhitungan daya yang dihasilkan oleh bahan bakar :

$$\begin{aligned} P &= \frac{2.240,7}{5.520} \\ P &= 0,405 \text{ kW} \\ P &= 405 \text{ W} = P_{\text{in}} \end{aligned}$$

(1 Joule = 1 Watt)

5. KESIMPULAN

1. Hasil pengukuran nilai kalor dari variasi komposisi 10 kg sampah, dengan sampah organik berkadar air 10% dan sampah anorganik berkadar air 2,28%, pada komposisi 7 kg organik dan 3 kg anorganik diperoleh nilai kalor sebesar 2.240,7 kJ/10 kg. Selain itu, laju aliran uap yang dihasilkan mencapai 0,0001220942 kg/s.
2. Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan laju uap *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) dengan menggunakan spesifikasi menggunakan boiler kapasitas 9 liter air, variasi sampah 7 kg organik dan 3 kg anorganik diperoleh daya maksimal yang dihasilkan adalah 405 Watt. Realisasi *prototype* PLTSA ini mendapatkan daya tertinggi sebesar 41,16 Watt, sehingga efisiensi *prototype* Pembangkit Listrik Tenaga sampah (PLTSA) diperoleh sebesar 10,16%.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Samsinar, Riza, and Khaerul Anwar. 2018. "Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Kapasitas 115 Kw (Studi Kasus Kota Tegal)". *Jurnal Elektum Vol. 15, No.2*.
- [2] H. Rahman, 2016 "Rancang Bangun Model Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Turbin Impuls". *Jurnal Universitas Islam Indonesia Vol. 5, No. 1*.
- [3] Widowati, L., Indrawan, E., Trisnawanditya, G. B., dan Abdulkadir, M. Pedoman Spesifikasi Teknis Refuse Derived Fuel (RDF) sebagai Alternatif Bahan Bakar di Industri Semen. 2017. Penerbit Kompasiana. Jakarta.
- [4] Hac, Alan Nasly. 2012. "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah di kota Banjarmasin".Undip. Semarang.
- [5] Niharman, Silaen A. F, Tonadi E, Coranda O. 2021. "Analisis Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Turbin Pelton Tekanan Konstan". *Jurnal Teknosia Vol. 1, No 1*.
- [6] Riyan Bhaskara Surya, Ib A., Cok Gede Indra Partha, I. G. N Janardana. 2023. "Analisis Laju Uap Oleh Boiler Dengan Kapasitas 9 Liter Air Dan 10 KG Sampah Organik Pada PLTSA". *Jurnal SPEKTRUM Vol. 10, No. 4*.
- [7] K. Rahmawati, 2018 "Perancangan Desain Boiler Pada Mini Plant Steam Engine Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap," Program Studi DIII Teknologi Instrumentasi Departemen Teknik Instrumentasi Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, *Vol. 1, No. 1*.
- [8] Narti, Ihsan, S. Zelviani, N. Waidah and F. Abadi. 2019. "Pengaruh Jenis Bahan Bakar Biobriket Terhadap Unjuk Kerja Pada Miniatur Pembangkit Listrik Tenaga Uap". *Jurnal Fisika dan Terapannya, Vol. 6, No. 1*.