

Rancang Bangun Prototipe Dan Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Turbin Pelton

Dhani alkhalefi¹, Muharnis²

Politeknik Negeri Bengkalis, Jl. Bathin Alam, Riau, Indonesia

email: alkhalfidhani@gmail.com¹, muharnis@polbeng.ac.id²

Intisari - Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menganalisis prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) skala mini yang menggunakan turbin Pelton, dengan bahan bakar LPG 3 kg dan briket arang 500 gram. Sistem dilengkapi boiler berkapasitas 3,57 liter dan pengisian air otomatis berbasis sensor level air (high dan low). Volume air pada kondisi penuh (10 cm dari dasar) sebesar 2,54 liter, dan saat mencapai titik low (7 cm) sebesar 1,78 liter, dengan selisih volume 0,76 liter. Pengisian air dari dasar ke high membutuhkan waktu 90 detik, sedangkan penurunan dari high ke low membutuhkan 27 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa bahan bakar LPG menghasilkan tekanan maksimum 1,42 bar dan energi sebesar 82,82 Joule, sedangkan briket menghasilkan tekanan dan daya yang jauh lebih rendah. Putaran turbin Pelton dihubungkan ke generator DC melalui sistem pulley dengan rasio 5:1. Namun, hasil analisis menunjukkan bahwa turbin Pelton tidak mampu menghasilkan putaran kontinu karena tekanan uap tidak stabil dan tidak cukup kuat untuk mempertahankan gaya impak air terhadap sudu. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa turbin Pelton kurang cocok digunakan pada sistem berbasis uap bertekanan rendah, dan disarankan untuk menggunakan jenis turbin lain yang lebih sesuai, seperti turbin reaksi atau turbin aksial skala kecil.

Kata Kunci - PLTU mini, turbin pelton, tekanan uap, sensor level air, energi listrik.

Abstract - *This study aims to design and analyze a prototype of a mini-scale Steam Power Plant (PLTU) using a Pelton turbine, with 3 kg of LPG fuel and 500 grams of charcoal briquettes. The system is equipped with a 3.57-liter boiler and automatic water filling based on water level sensors (high and low). The volume of water at full (10 cm from the base) is 2.54 liters, and when it reaches the low point (7cm) is 1.78 liters, with a volume difference of 0.76 liters. Filling the water from bottom to high takes 90 seconds, while dropping from high to low takes 27 seconds. The test results showed that LPG fuel produced a maximum pressure of 1.42 bar and an energy of 82.82 Joules, while briquettes produced much lower pressure and power. The rotation of the Pelton turbine is connected to the DC generator via a pulley system with a ratio of 5:1. However, the results of the analysis showed that the Pelton turbine was not capable of producing continuous rotation because the steam pressure was unstable and not strong enough to sustain the impact force of the water against the blade. Therefore, it can be concluded that Pelton turbines are less suitable for use in low-pressure steam-based systems, and it is recommended to use other more suitable types of turbines, such as reaction turbines or small-scale axial turbines.*

Keywords - *mini coal-fired power plants, pelton turbines, steam pressure, water level sensors, electrical energy.*

I. PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) merupakan sistem pembangkit yang banyak digunakan karena kemampuannya menghasilkan energi listrik secara stabil dalam skala besar. Namun, pengembangan PLTU dalam skala kecil masih terbatas, padahal sistem ini penting untuk kebutuhan penelitian, edukasi, maupun penerapan energi mandiri dalam skala rumah tangga atau komunitas. Dalam upaya untuk memahami prinsip kerja dan efisiensi sistem pembangkit uap skala kecil, penelitian ini dilakukan dengan merancang dan menganalisis prototipe PLTU menggunakan turbin Pelton 12 sudu serta boiler presto 4 liter sebagai sumber

uap. Sistem ini didesain agar dapat mengeksplorasi pengaruh tekanan uap, laju aliran, serta efisiensi turbin terhadap performa keseluruhan pembangkit.

Salah satu permasalahan yang kerap terjadi dalam pengoperasian boiler adalah ketidakstabilan level air, yang dapat menyebabkan risiko *overheating* atau produksi uap yang tidak optimal. Untuk mengatasi hal ini, sistem dirancang dengan pengisian air otomatis menggunakan sensor *float switch stainless steel*, serta pemantauan tekanan melalui *pressure gauge* agar tekanan uap tetap dalam kisaran optimal. Penggunaan turbin Pelton dalam sistem ini didasarkan pada keunggulannya dalam efisiensi konversi energi fluida menjadi energi mekanik, bahkan pada skala kecil. Pemilihan 12 sudu bertujuan untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi dan kestabilan putaran turbin. Energi mekanik dari turbin akan dikonversi menjadi energi listrik melalui generator yang sesuai, dan dilakukan pula analisis kecepatan serta tekanan pada *nozzle* untuk memastikan konversi energi berjalan maksimal.

Dari sisi bahan bakar, penelitian ini menggunakan briket sebagai alternatif bahan bakar ramah lingkungan yang lebih ekonomis dan memiliki emisi lebih rendah dibandingkan bahan bakar fosil konvensional. Penggunaan bahan bakar ini tidak hanya bertujuan untuk efisiensi energi, tetapi juga mendukung keberlanjutan dan pengurangan emisi karbon. Dengan mempertimbangkan keunggulan turbin Pelton dalam fleksibilitas dan efisiensinya, serta potensi peningkatan performa melalui variasi desain seperti sudut dan diameter *nozzle*, prototipe PLTU ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem pembangkit skala kecil yang efisien dan aplikatif.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan untuk menjawab beberapa permasalahan utama, yaitu bagaimana merancang prototipe PLTU skala kecil menggunakan turbin Pelton, bagaimana efektivitas sistem pengisian air otomatis dalam menjaga kestabilan boiler, bagaimana perbandingan performa antara penggunaan bahan bakar briket dan LPG, serta sejauh mana turbin Pelton cocok digunakan dalam sistem uap bertekanan rendah.

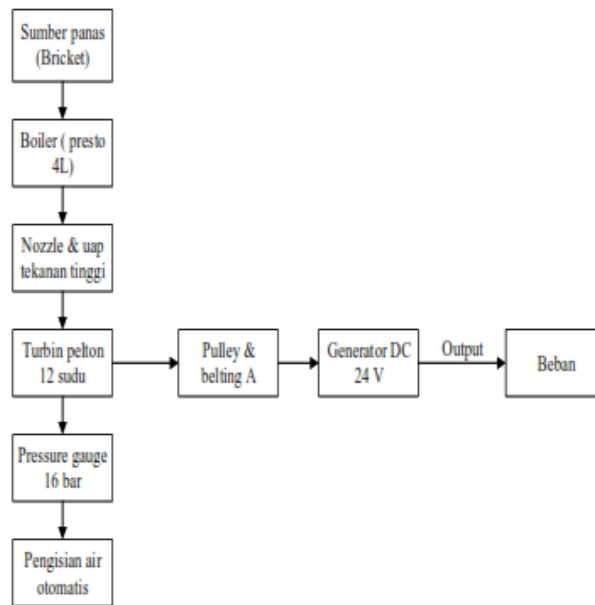
II. METODE

A. Sistem Kerja Alat Secara Umum

Sistem ini mengatur pengisian air boiler secara otomatis menggunakan sensor *float switch*, pompa 12V, dan Arduino. Saat air di bawah batas minimum, pompa aktif hingga batas maksimum lalu berhenti. Dilengkapi *pressure gauge* untuk memantau tekanan uap, serta kran dan klep satu arah sebagai pengaman. Uap bertekanan tinggi diarahkan ke turbin Pelton 12 sudu untuk menggerakkan generator, dengan trafo *step-up* menyesuaikan tegangan. Sistem dirancang bekerja otomatis, efisien, dan stabil dalam mengelola air, tekanan, dan konversi energi listrik.

B. Blok Diagram Sistem

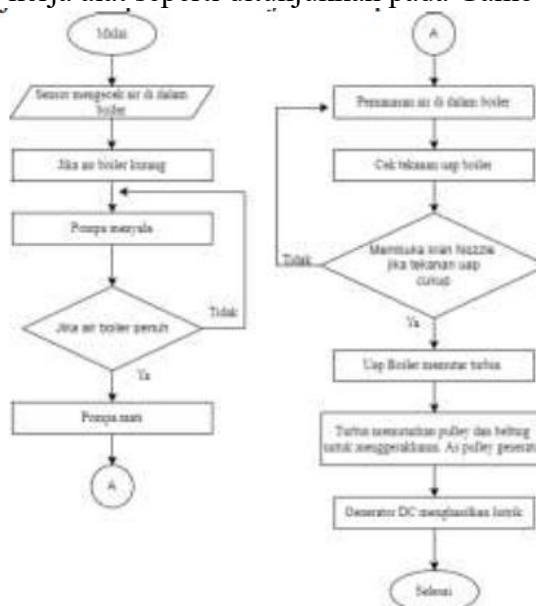
Blok diagram merupakan gambaran urutan keseluruhan kerja secara umum dari suatu sistem. Tujuannya yaitu untuk memudahkan dalam melihat proses yang berlangsung dalam sistem yang dibuat digambarkan dalam Gambar 1 dalam blok diagram yang dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 1 Blok Diagram Sistem.

C. *Flowchart (Diagram Alir)*

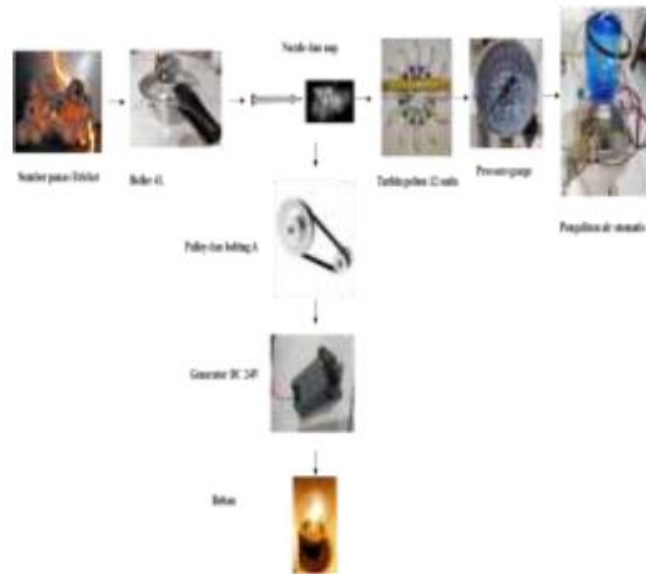
Ada beberapa prosedur yang harus dilakukan dalam membuat rancangan alat agar dapat bekerja sesuai dengan prosedur yang diharapkan. Maka *flowchart* berikut ditunjukan sebagai bentuk deskripsi prosedur kerja alat seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Flowchart Penelitian

D. *Rancangan Hardware*

Perencanaan modul merupakan perencanaan awal yang dilakukan untuk menentukan bagian-bagian yang akan dikerjakan, perencanaan ini terdiri dari pembuatan tata letak komponen yang telah direncanakan pembuatan peralatan berupa sebuah peralatan pembangkit listrik tenaga uap dengan pengisian air otomatis menggunakan sensor *float switch* yaitu dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Rancangan Hardware

E. Rancangan Software

Rancangan *software* mengandalkan Arduino sebagai pusat kendali yang menerima input dari sensor *float switch* untuk mengatur relay pompa 12V, menjaga level air boiler tetap aman secara otomatis. Program mendefinisikan pin untuk sensor batas bawah/atas, tombol ON/OFF, relay, dan lampu indikator. Saat sensor batas bawah aktif dan tombol ON ditekan, pompa menyala hingga batas atas tercapai atau tombol OFF ditekan. Sistem dilengkapi `delay()` untuk stabilitas pembacaan, *pressure gauge* untuk memantau tekanan, serta kran dan klep satu arah sebagai pengaman. Uap dari pemanasan briket dialirkan ke turbin Pelton untuk menggerakkan generator, dengan trafo *step-up* menyesuaikan tegangan. *Software* ini mengatur seluruh proses agar efisien, aman, dan stabil.

F. Rancangan Prototipe

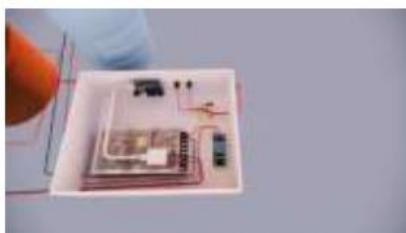
Rancangan prototype ini merupakan rancangan alat yang akan dibuat pada penelitian Gambar 4. Gambar keseluruhan, Gambar 5. Gambar boiler tampak atas dan Gambar 6 Gambar sistem pengaliran air otomatis serta Gambar 7 Gambar pengaliran air otomatis tampak dekat.



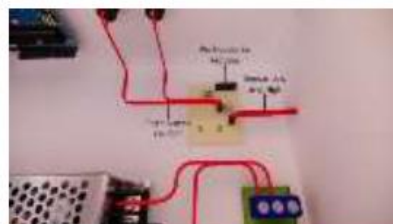
Gambar 4. Gambar keseluruhan



Gambar 5. Gambar boiler tampak atas



Gambar 6 sistem pengaliran air otomatis



Gambar 7 pengaliran air otomatis tampak dekat

III. HASIL DAN PEMBAHASAAN

A. Hasil Perancangan Alat

Berikut merupakan penjabaran hasil perancangan alat berdasarkan setiap system penyusunnya:

1. Turbin Pelton, Generator, Pulley Dan Balting

Sistem ini menggunakan turbin Pelton 12 sudu untuk memanfaatkan tekanan uap tinggi dari boiler dan menghasilkan putaran kuat pada poros. Turbin terhubung ke pulley aluminium (as 50 mm, diameter luar 2 inci) yang disambungkan ke pulley generator melalui belting tipe A. Generator DC 24V 30W dengan torsi rendah dan efisiensi tinggi dihubungkan melalui pulley berdiameter as 15 mm dan diameter luar 1 inci, sedangkan pulley turbin berdiameter 4 inci. Dengan jarak poros 30 cm dan panjang belting 76 cm, rasio putaran diatur seimbang sehingga energi mekanik dapat ditransmisikan langsung untuk menghasilkan listrik stabil dan efisien pada PLTU skala kecil.



Gambar 4. hasil perancangan PLTU degan turbin pelton

2. Perancangan Sistem Pengisian Air Otomatis

Sistem pengisian air otomatis ini menjaga level air boiler tetap aman dengan dua sensor float switch (LOW dan HIGH) yang terhubung ke Arduino Uno. Pompa DC 12V dikendalikan melalui relay 1 channel dan mengalirkan air ke boiler lewat nepel kuningan 1/4 inci. Aliran balik dicegah dengan klep satu arah, dan kran HATO 1/4 inci disediakan untuk kontrol manual. Sistem dilengkapi tombol ON/OFF, LED indikator merah dan hijau, resistor 330 ohm untuk LED, serta resistor 10k ohm untuk input sensor. Seluruh rangkaian dirakit di PCB fiberglass demi kekuatan mekanik dan isolasi listrik yang aman dan andal.



Gambar 5. Hasil perancangan sistem pengisian air otomatis

3. Perancangan Boiler Serta Tungku Nya

Boiler yang digunakan adalah boiler presto 4 liter yang dimodifikasi dengan jalur masuk air dari sistem otomatis dan jalur keluar uap langsung ke nozzle turbin. Tekanan uap dipantau

menggunakan pressure gauge Tekiro 16 bar untuk memastikan kinerja optimal turbin. Uap hasil pemanasan dialirkan melalui pipa bertekanan ke nozzle yang menyembrotkan uap ke sudu turbin. Pemanasan utama menggunakan briket arang tempurung kelapa karena kalorinya tinggi, ramah lingkungan, dan efisien, namun dapat diganti LPG 3 kg jika diperlukan. Tungku berbahan logam tahan panas ditempatkan di bawah boiler dengan sirkulasi udara manual untuk kestabilan api, sehingga tekanan uap tinggi dapat dicapai secara ekonomis dan mendukung kinerja PLTU skala kecil.



Gambar 6. Hasil perancangan Boiler dan Tungku Pembakaran

B. Perhitungan Dimensi Volume Air Boiler

Boiler yang digunakan berbentuk silinder vertikal dengan kapasitas maksimum 4 liter, diameter 18 cm, dan tinggi 14 cm. Pengukuran dilakukan untuk menentukan volume air berdasarkan level sensor high (10 cm) dan low (7 cm) untuk sistem pengisian otomatis.

TABEL 1. SPESIFIKASI BOILER

Spesifikasi	Nilai	Keterangan
Jenis boiler	Presto (Tekanan rendah)	Boiler rumahan
Kapasitas	4 liter	Volume maksimum yang dapat ditampung
Diameter	18 cm	Diameter luar boiler
Jari – jari (r)	9 cm	Setengah dari diameter
Tinggi total boiler	14 cm	Di ukur dari atas sampai bawah
<i>Sensor high level</i>	10 cm	Sensor batas pengisian air
<i>Sensor low level</i>	7 cm	Sensor batas memulai pengisian air

TABEL 2. DATA UNTK Mencari Pengisian dan Penurunan Boiler Berdasarkan Volume

Data Boiler	Hasil perhitungan
Tinggi Boiler	14 cm
Diameter boiler	18 cm
<i>Sensor high</i>	10 cm dari dasar
<i>Sensor low</i>	7 cm dari dasar
<i>Volume total</i>	3,57 liter
<i>Volume high(10 cm)</i>	2,54 liter
<i>Volume low (7cm)</i>	1,78 liter
<i>Selisih volume high and low</i>	0,76 liter
<i>Waktu pengisian 0 – high (10cm)</i>	90 detik
<i>Volume aliran air per detik</i>	0,2823 liter
<i>Waktu penurunan High – low (3cm)</i>	27 detik

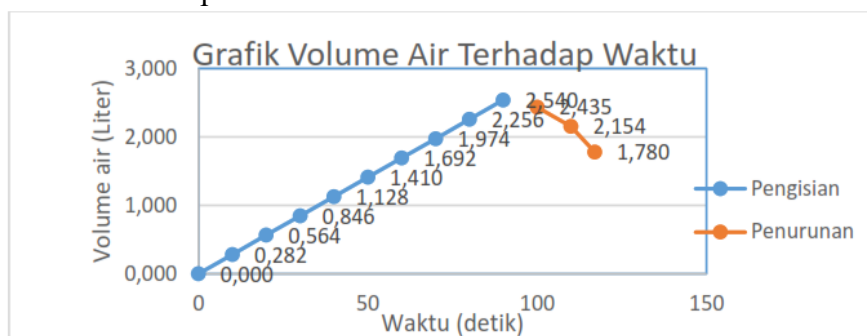
Berdasarkan data di atas kita akan mencari volume air dan tinggi air saat penurunan dan pengisian air secara otomatis berdasarkan waktu. Setelah di dapat volume untuk penurunan dan

pengisian sudah di analisa untuk volume penurunan dan pengisian berdasarkan data dari tabel 2 dan berikut di bawah ini tabel 3 berupa volume pengisian air dan penurunan air otomatis berdasarkan waktu saat penurunan :

TABEL 3. VOLUME AIR BERDASARKAN WAKTU (10 DETIK)

Waktu (detik)	Volume air (liter)	Keterangan
0	00,0	Awal pengisian
10	0,282	Pengisian
20	0,564	Pengisian
30	0,846	pengisian
40	1,128	pengisian
50	1,410	pengisian
60	1,692	pengisian
70	1,974	pengisian
80	2,256	pengisian
90	2,540	Sensor high tercapai
100	2,435	Penurunan di mulai
110	2,154	penurunan
117	1,780	Sensor low tercapai

Tabel 3 menggambarkan proses pengisian dan penurunan air dalam boiler. Air mengisi dari dasar hingga sensor HIGH (10 cm) selama 90 detik, mencapai volume maksimum 2,54 liter. Volume bertambah secara linier karena laju aliran konstan. Setelah penuh, air turun hingga sensor LOW (7 cm) dalam 27 detik, menghasilkan volume akhir 1,78 liter. Proses ini berlangsung total 117 detik dan mencerminkan kestabilan suplai uap dalam sistem boiler otomatis. Dan berikut merupakan grafik volume air pengisian dan penurunan air di dalam boiler berdasarkan waktu 10 detik pada Gambar 7 di bawah ini:



Gambar 7. Volume Air Terhadap Waktu

Grafik menunjukkan hubungan volume air terhadap waktu:

- a) Garis biru: pengisian air dari 0 hingga 90 detik (naik linear)
- b) Garis merah: penurunan air dari 90 hingga 117 detik (turun linear)

Proses pengisian berlangsung dengan laju tetap hingga mencapai 2,54 liter. Setelah itu, air menurun secara konstan selama 27 detik hingga kembali ke 1,78 liter. Grafik ini menggambarkan kestabilan sistem otomatis boiler dalam menjaga level air secara efisien dan terkontrol.

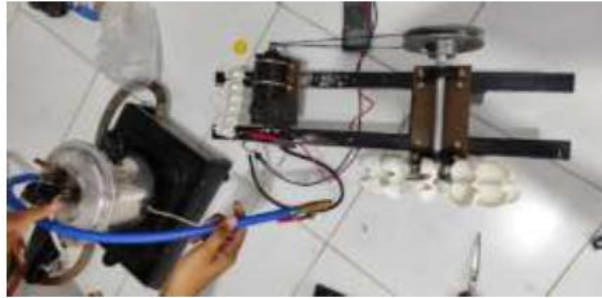
C. Pengujian Sistem Menggunakan Bahan Bakar LPG 3 kg Dengan Beban 9 Watt

Pengujian ini bertujuan mengevaluasi kinerja sistem pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan bahan bakar LPG 3 kg. Fokus utama adalah mengukur efektivitas sistem dalam menghasilkan tekanan uap yang cukup untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik, khususnya saat diberi beban ringan berupa lampu 9 watt.

Selama pengujian, beberapa parameter diamati seperti:

- 1) Tekanan uap,
- 2) Tegangan dan arus listrik,
- 3) Putaran turbin (RPM),
- 4) Kondisi lampu sebagai indikator keberhasilan pembangkitan daya.

Tekanan uap menjadi variabel kunci, dengan pengamatan dilakukan mulai dari tekanan maksimum hingga minimum yang masih mampu menggerakkan turbin. Setiap tahap tekanan diuji secara bertahap untuk memahami performa sistem secara menyeluruh dalam kondisi nyata. Berikut merupakan gambar 8 pengujian menggunakan bahan bakar gas LPG 3 kg.



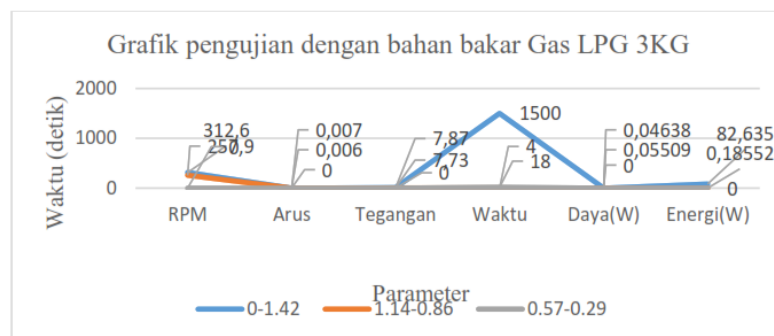
Gambar 8. Pengujian menggunakan bahan bakar gas LPG 3 kg

Pada pengujian bahan bakar Gas LPG 3 kg mencari nilai tegangan, arus, RPM, kondisi lampu dan rentang waktu penurunan bar, pada data pengujian di atas rentang bar 0 – 1,42 bar yaitu membutuhkan waktu 25 menit sampai bar tertinggi untuk memutar turbin dan mencari data nilai tegangan, arus, RPM, dan kondisi lampu dan waktu penurunan bar dari 1,14 ke 0,86 di dapat penurunan bar nya sekitar 4 detik dan penurunan bar 0,57 sampai 0,29 penurunan bar nya memerlukan waktu 18 detik tetapi uap tidak memutar turbin lagi dikarenakan kondisi uap sudah turun dan sedikit sehingga arus dan tegangan dan kondisi lampu serta pada RPM hasilnya rendah dan mendapat kan nilai 0, dan Berikut hasil tabel pengujian bahan bakar yang sudah di analisa dapat dilihat pada tabel 4.

TABEL 4. HASIL ANALISA PENGUJIAN BAHAN BAKAR GAS LPG 3KG

Bar	RPM	Arus	Tegangan	Waktu(S)	K.lampu	Daya(W)	Energi(W)
0-1,42	312.6	0.007	7,87	1500	Terang	0.05509	82.635
1,14-0,86	257.9	0.006	7.73	4	Redup	0.04638	0.18552
0,57-0,29	0	0	0	18	Mati	0	0

Dan berikut grafik untuk pengujian bahan bakar gas LPG 3kg dapat dilihat pada grafik 2 di bawah ini:



Gambar 9. Pengujian dengan bahan bakar gas LPG 3kg

Pengujian menunjukkan bahwa tekanan uap dalam boiler sangat memengaruhi daya dan energi listrik yang dihasilkan. Daya maksimum sebesar 0,055 Watt dan energi tertinggi 82,64 Joule tercapai saat tekanan mencapai 1,42 bar, dengan tegangan 7,87 Volt dan arus 0,007 Ampere selama 25 menit.

Saat tekanan menurun ke 1,14–0,86 bar, daya turun menjadi 0,046 Watt dan energi hanya 0,19 Joule dalam 4 detik. Bila tekanan turun di bawah 0,57 bar, sistem berhenti bekerja: tegangan, arus, daya, dan energi semuanya nol. Sistem hanya optimal pada tekanan tinggi. Stabilitas tekanan uap sangat penting agar turbin bisa terus menghasilkan daya listrik.

Pada data hasil pengujian bahan bakar LPG 3kg dimana rentang waktunya dari 0 ke 1,42 bar, 1,14 bar ke 0,86 bar dan 0,57 ke 0,29 bar didapatkan hasil analisisnya pada tabel di atas yang telah di analisa. berikut tabel 5 data hasil pengujian bahas bakar gas LPG 3kg di Bawah ini:

TABEL 5. TABEL ANALISA BAHAN BAKAR GAS LPG 3KG

Rentang tekanan bar	Tegangan(v)	Arus(A)	Waktu (s)	Daya listrik(P)	Energi listrik(W)
0 ke 1,42	7,87	0,007	1500	0,05509	82,653
1,14 ke 0,86	7,73	0,006	4	0,04638	0,18552
0,57 ke 0,29	0	0	18	0	0

Untuk mencari total energi listrik, tekanan rata-rata dan daya rata-rata pada bahan bakar gas kita menggunakan pada tabel di atas untuk mencari analisa bahan bakar gas LPG 3 kg seperti di bawah ini:

a. Energik listrik rata- rata pada gas LPG 3kg:

$$W_{total} = 82,635 + 0,18552 + 0 = 82,82 \text{ joule}$$

b. Tekanan rata-rata pada gas LPG 3kg:

$$\text{rata - rata tekanan} = \frac{(1,42 + 1,14 + 0,86 + 0,57 + 0,29)}{5} = \frac{4,28}{5} = 0,865 \text{ Bar}$$

c. Daya rata-rata pada gas LPG 3kg:

$$Prata = \frac{0,05509 + 0,04638 + 0}{3} = 0,03382 \text{ watt}$$

Pada data hasil analisa bahan bakar gas LPG 3kg mampu menghhasilkan energi sebesar 82,82 joule dan tekanan maksimum 1,42 bar dalam waktu 25 menit dan setelah tekanan turun 0,57 bar turbin tidak lgi berputar dan menghasilkan arus dan tegangan 0 dan efesiensi mulai turun setelah tekanan di bawah 0,86 bar.

D. Pengujian Sistem Menggunakan Bahan Bakar Bricket Dengan Beban 9 Watt

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem pembangkit uap saat menggunakan briket sebagai bahan bakar, dengan beban lampu 9 watt. Parameter yang diamati meliputi tekanan uap, tegangan, arus, RPM turbin, dan kondisi nyala lampu.

Awalnya digunakan 25 briket, namun hanya menghasilkan tekanan hingga 0,86 bar, sehingga ditambah 25 briket lagi untuk mencapai 1,42 bar, yang dibutuhkan agar turbin dapat berputar. Waktu yang diperlukan untuk mencapai tekanan maksimum tersebut adalah 40 menit.

Setelah mencapai puncak tekanan:

- Penurunan dari 1,14 ke 0,86 bar terjadi dalam 4 detik.
- Penurunan dari 0,57 ke 0,29 bar berlangsung selama 18 detik, namun uap sudah terlalu lemah sehingga turbin tidak lagi berputar dan output listrik nol.

Perhitungan daya dan energi dilakukan dengan rumus yang sama seperti pada pengujian LPG, untuk mengetahui performa pembangkitan listrik saat tekanan berubah. Pengujian ini menegaskan bahwa briket membutuhkan waktu lebih lama untuk menghasilkan tekanan yang

cukup dan performa sistem sangat tergantung pada kestabilan serta kekuatan tekanan uap. Berikut hasil tabel pengujian bahan bakar yang sudah di analisa dapat dilihat pada tabel 6 di bawah ini:

TABEL 6. TABEL HASIL ANALISA BAHAN BAKAR BRICKET

Bar	RPM	Arus	Tegangan	Waktu	K.lampu	Daya	Energi(W)
0 -1,42	385.9	0.010	7,81	2400	Redup	0.0781	187.44
1,14-0,86	231.0	0.004	7.64	4	Redup	0.03056	0.12224
0,57-0,29	0	0	0	18	Mati	0	0

Dan berikut grafik hasil analisa pengujian bahan bakar bricket dapat dilihat pada grafik 3 bawah ini:



Gambar 10. Pengujian dengan bahan bakar Bricket 50 buah

Grafik menunjukkan bahwa daya dan energi listrik meningkat seiring kenaikan tekanan uap dalam boiler. Saat tekanan mencapai 1,42 bar, sistem menghasilkan daya tertinggi 0,0781 watt dan energi total 187,44 joule, menunjukkan bahwa turbin berputar optimal dan lampu menyala terang.

Namun, saat tekanan turun ke 1,14–0,86 bar, kinerja sistem melemah; daya turun menjadi 0,0306 watt, energi menjadi 0,122 joule, dan lampu tampak redup, menandakan turbin berputar tidak stabil. Pada rentang tekanan 0,57–0,29 bar, tidak ada output listrik, karena tekanan uap tidak lagi mampu memutar turbin, menyebabkan tegangan dan arus nol, serta lampu mati. Jadi semakin tinggi tekanan uap, semakin besar daya dan energi listrik yang dihasilkan, namun hanya jika tekanan berada dalam rentang efisiensi optimal sistem.

1. Analisa Bahan Bakar Bricket

Pada pengujian hasil bahan bakar bricket di dapat data berdasarkan hasil pengujian di bawah ini:

1 bricket = 10 gram

25 bricket (250 gram) menghasilkan tekanan hingga 1,14 dan masih kurang untuk menuju 1,42 bar Ditambah 25 briket lagi jadi total 50 bricket (500 gram) sehingga mencapai 1,42 bar Waktu mencapai 1,42 bar menghabiskan waktu sebanyak 40 menit Tegangan maksimum yang didapatkan 7,81 volt Arus maksimum yang di dapatkan 0,010 Ampere dengan daya =0,0781 watt Dengan energi listrik 187,44 joule, dengan data berikut kita dapat menganalisa tekanan pada bricket dalam bar, daya rata- rata per gram bricket berdasarkan waktu total dan energi listrik per gram bricket. Dapat dilihat di bawah ini:

- a. Energi listrik per gram Bricket dsapat kita cari menggunakan rumus di bawah ini sebagai berikut:

$$\text{Energi per gram} = \frac{\text{energi total}}{\text{massa total bricket}} = \frac{187,44j}{500g} = 0,3749 \text{ j/g}$$

Dimana kita mendapatkan energi per gram bricket dengan nilai 0,3749 joule/gram, setelah mendapati energi listrik kita lanjut dengan mencari daya listrik nya seperti di bawah ini.

- b. Untuk mencari Daya listrik rata-rata per gram bricket dengan (berdasarkan waktu total) dapat kita cari seperti rumus di bawah ini:

$$\text{Daya per gram} = \frac{\text{energi per gram}}{\text{waktu dalam detik}} = \frac{0,3749}{2400} = 0,000156 \text{ watt}$$

Setelah kita dapat daya listrik nya dengan nilai 0,000156 watt, lalu kita mencari tekanan per bricket nya.

- c. Untuk mencari tekanan Tekanan per bricket (dalam bar) tertinggi dapat kita cari seperti rumus di bawah ini:

$$\text{Tekanan per bricket} = \frac{1,42 \text{ bar}}{50} = 0,0284 \text{ bar/briket}$$

- d. Energi briket per gram 25 briket buah yaitu di dapat dengan hasil di bawah ini:

$$\frac{187,44}{2} = 93,72 \text{ j}$$

Jadi energi briket per 25 gram nya sebesar 93,72 joule yang dimana belum bisa untuk memutar sebuah turbin pelton.

- e. Peningkatan tekanan 25 briket:

Kenaikan tekanan ini dimana tekanan akhir briket yaitu 1,42 dikurang dengan tekanan awal briket 1,14 seperti di bawah ini.

$$K. \text{tekanan} = T. \text{akhir} - T. \text{awal} = 1,42 \text{ bar} - 1,14 \text{ bar} = 0,28 \text{ bar}$$

Jadi 25 bricket yang digunakan menghasilkan peningkatan tekanan sebesar 0,28 bar dan untuk mencari rata-rata tekanan per 1 briket seperti di bawah ini:

$$T. \text{per briket} = \frac{\text{Total kenaikan briket}}{\text{jumlah briket}} = \frac{0,28}{25} = 0,0112 \text{ bar/briket}$$

Jadi tekanan yang dihasilkan per satu briket sebesar 0,0112 per briket nya. Dalam kesimpulan penambahan bahan bakar menggunakan bahan bakar briket ini sangat diperlukan karena dengan 25 briket yg bar nya hanya sampai 1,14 bar belum bisa memutar turbin maka ditambah 25 briket lgi sehingga total nya 50 briket untuk sampai ke bar 1,42 bar untuk bisa memutar turbin dan bisa dikatakan dengan menambah kan briket adalah kunci aktivasi sistem pada turbin dan pembangkit.

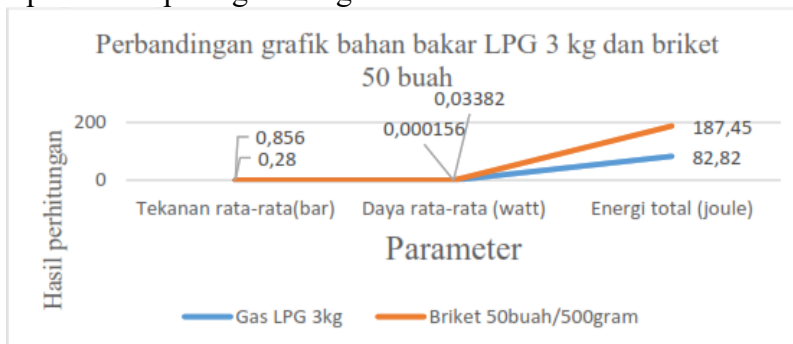
E. Perbandingan Bahan Bakar Gas LPG 3 kg Dengan Bricket 50 Buah

Pada bagian ini dilakukan analisis perbandingan antara dua jenis bahan bakar yang digunakan untuk mengoperasikan sistem pembangkit uap mini, yaitu gas LPG 3 kg dan briket (sebanyak 50 buah atau setara 500 gram). Parameter yang dibandingkan mencakup tekanan rata-rata, daya rata-rata, dan energi total yang dihasilkan dari sistem ketika memutar turbin dan menghasilkan listrik. dapat dilihat perbandingan bahan bakar LPG 3kg dengan Bricket 50 buah/500gram pada tabel 7 di bawah ini:

TABEL 7. TABEL HASIL PERBANDINGAN ANTARA GAS LPG 3KG DENGAN BRICKET 50/500GRAM

Parameter	Gas LPG 3kg	Briket 50buah/500gram
Tekanan rata-rata(bar)	0,856	0,28
Daya rata-rata (watt)	0,03382	0,000156
Energi total (joule)	82,82	187,45

Berikut merupakan perbandingan grafik antara gas LPG 3kg dan Bricket 50 buah/500gram dapat dilihat pada gambar grafik 4 Di bawah ini:



Gambar 11. Hasil perbandingan bahan bakar LPG 3kg dengan bricket 50 buah

Berdasarkan grafik perbandingan, briket menghasilkan tekanan rata-rata tertinggi sebesar 1,42 bar, sedangkan LPG hanya mencapai 0,856 bar. Namun dalam hal daya rata-rata, LPG unggul dengan 0,03382 Watt, sementara briket hanya menghasilkan 0,000156 Watt. Di sisi lain, energi total dari briket lebih besar, yaitu 187,45 Joule, dibandingkan 82,82 Joule dari LPG.

Hasil ini menunjukkan bahwa briket mampu menghasilkan tekanan tinggi dan energi besar dalam waktu yang singkat, namun dayanya rendah. Sebaliknya, LPG lebih efisien untuk menghasilkan daya listrik stabil dan cocok untuk sistem mini, sedangkan briket lebih sesuai untuk aplikasi yang memerlukan tekanan tinggi dalam jangka waktu lebih panjang.

F. Analisa Perbandingan Pulley, RPM Generator, Dan Panjang Belt Pada Bahan Bakar Bricket Dan Gas LPG 3kg

Briket menghasilkan tekanan rata-rata tertinggi sebesar 1,42 bar, lebih tinggi dibandingkan LPG yang hanya 0,856 bar. Namun, LPG menghasilkan daya rata-rata lebih besar, yaitu 0,03382 Watt, sedangkan briket hanya 0,000156 Watt. Dalam hal energi total, briket unggul dengan 187,45 Joule, sedangkan LPG menghasilkan 82,82 Joule.

Briket lebih cocok untuk menghasilkan tekanan dan energi besar, tetapi kurang optimal untuk daya listrik. Sebaliknya, LPG lebih efisien menghasilkan daya listrik stabil, sehingga lebih sesuai untuk sistem pembangkit uap mini berdaya rendah.

Berikut Tabel hasil dari analisa Rpm generator pada bahan bakar gas LPG 3kg dan hasil analisa Rpm generator dari bahan bakar bricket 50 buah

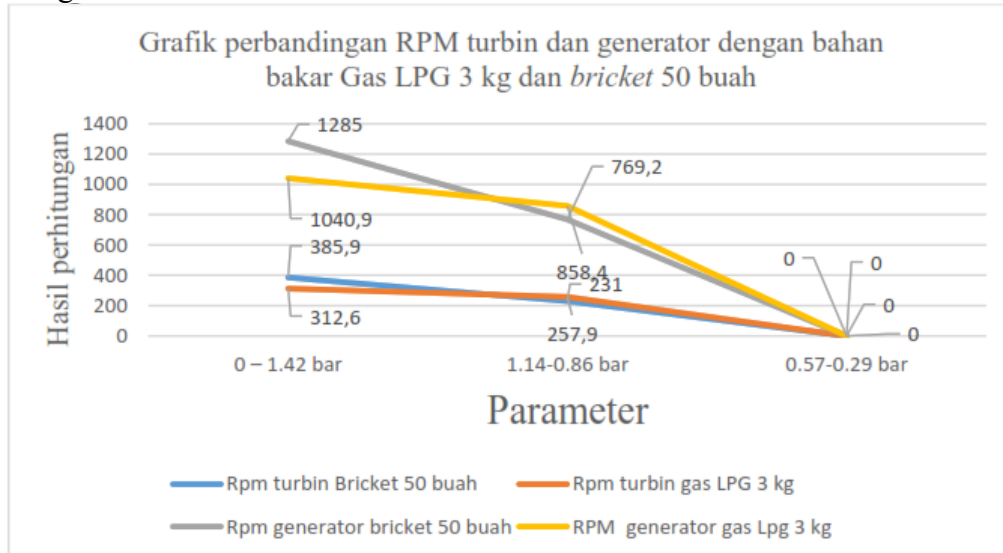
TABEL 7. HASIL ANALISA RPM GENERATOR PADA BAHAN BAKAR LPG 3KG

Rentang tekanan uap	Rpm turbin	Perbandingan pulley	RPM generator
0 – 1.42 bar	312.6	3,33 : 1	1040,9
1.14-0,86 bar	257.9	3,33 : 1	858,4
0,57-0.29 bar	0	3,33 : 1	0

TABEL 7. HASIL ANALISA RPM GENERATOR

Rentang tekanan uap	Rpm turbin	Perbandingan pulley	RPM generator
0 – 1.42 bar	385.9	3,33 : 1	1285
1.14-0,86 bar	231.0	3,33 : 1	769,2
0,57-0.29 bar	0	3,33 : 1	0

Dari kedua tabel 8 dan 9 telah di dapat hasil analisa perhitungan Rpm generator pada bahan bakar Gas LPG 3kg dan bahan bakar bricket 50 buah, dan dapat kita buat grafik untuk perbandingan perhitungan generator pada bahan bakar gas LPG 3kg dan bahan bakar bricket 50 buah. Dan pada gambar 4.10 di dapat sebuah perbandingan Rpm generator pada bahan bakar gas LPG 3kg dan bricket.



Gambar 12. Perbandingan RPM Turbin dan Generator dengan bahan bakar Gas LPG 3 kg dan Bricket 50 buah

Pada rentang tekanan tinggi (0–1,42 bar), bricket menghasilkan RPM tertinggi sebesar 1285 RPM, mengungguli LPG yang hanya 1040,9 RPM. Namun, pada tekanan sedang (1,14–0,86 bar), LPG lebih stabil dengan 858,8 RPM, dibandingkan bricket yang hanya 769,2 RPM. Sementara pada tekanan rendah (0,57–0,29 bar), keduanya tidak mampu memutar turbin, karena tekanan uap terlalu rendah.

Jadi LPG memberikan performa lebih stabil di berbagai tekanan, sedangkan bricket hanya unggul pada tekanan maksimum. Grafik menunjukkan bahwa RPM menurun seiring penurunan tekanan pada kedua bahan bakar, menandakan efisiensi dan daya dorong masing-masing bahan berbeda karakteristik.

Untuk menghitung panjang belt dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini:

$$L = 2(30) + \frac{3,14}{2} + (5 + 3,81) + \frac{(5 - 3,81)^2}{4(30)}$$

- a) $2C = 2 \times 30 = 60\text{cm}$
- b) $\frac{3,14}{2} + (5 + 3,81) = 1,57 \times 8,81 = 13,83\text{cm}$
- c) $\frac{(5-3,81)^2}{4 \times 30} = \frac{(1,19)^2}{120} = \frac{14161}{120} = 0,0118\text{ cm}$

Jadi setelah di analisa satu persatu kita jumlah kan:

$$L = 60 + 13,83 + 0,0118 = 73,84\text{ CM}$$

Jadi panjang belt yang didapat sekitar 73,84 cm dan hasil ini masih mendekati panjang belt yang kita ukur secara manual pada alat ukur

IV. KESIMPULAN

Prototipe PLTU mini dengan turbin Pelton berhasil dibuat menggunakan boiler presto 4 liter dan sistem pengisian air otomatis berbasis sensor float switch. Volume air berkisar antara 2,54 liter (penuh) hingga 1,78 liter (low) dengan selisih 0,76 liter, pengisian penuh memakan waktu

90 detik dan penurunan 27 detik. Bahan bakar LPG 3 kg menghasilkan tekanan puncak 1,42 bar dan energi 82,82 Joule, jauh lebih efisien dibanding briket 500gram yang hanya mencapai 0,86 bar dan energi per gram 0,3749 Joule. Sistem pulley 5:1 menghubungkan turbin Pelton 12 sudu ke generator DC 24V 30W, namun ketidakstabilan tekanan uap menyebabkan putaran dan listrik yang dihasilkan tidak kontinu. Kinerja optimal dapat dicapai jika tekanan uap dan volume air dijaga stabil.

REFERENSI

- Abdullah, W. A. (2020). Perancangan Turbin Tife Pelton Untuk Miniatur Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro. *Journal of Electrical Power Control and Automation (JEPCA)*, 2(2), 36-40.
- Valuby, A. H., Shalahudidin, Y., Yumono, F., & Rizal, R. F. (2022). Rancang Bangun PLTMH Menggunakan Turbin Pelton. *Jurnal Teknik Informatika dan Elektro*, 4(2), 100-111.
- Pranata, T., Abdulkadir, M., & Sugati, D. (2022). Analisis efisiensi turbin uap di PT. Madu Baru Yogyakarta. *CENDEKIA MEKANIKA*, 3(2), 175-181.
- Sutrisno, A., Prasetya, D., & Lestari, R. (2021). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Uap Menggunakan Bahan Bakar Gas LPG 3 Kg. *Jurnal Energi dan Mesin*, 9(2), 123-130.
- Arrazi, M., Zamzami, Z., & Maimun, M. (2023). Analisis Efisiensi Turbin Uap Sebagai Penggerak Generator Pabrik Minyak Kelapa Sawit PT. Syaukath Sejahtera (GANDAPURA). *Jurnal Tektro*, 7(1), 91-97.
- Permana, J., & Kurniawan, I. (2017). Analisis Perhitungan Daya Turbin Yang Dihasilkan Dan Efisiensi Turbin Uap Pada Unit 1 Dan Unit 2 Di Pt. Indonesia Power Uboh Ujp Banten 3 Lontar. *Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin*, 1(2).