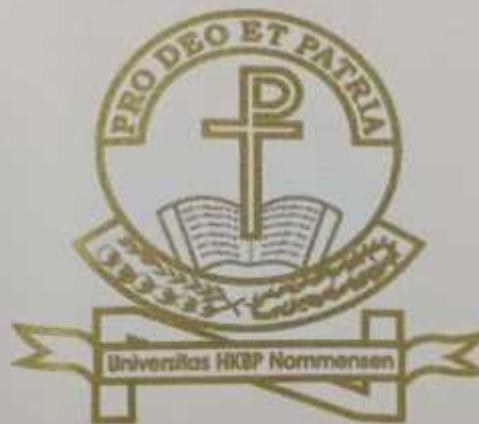


**RANCANG BANGUN MINIATUR PLTU DENGAN  
PEMANFAATAN SAMPAH ANORGANIK  
SEBAGAI BAHAN BAKAR**

**TUGAS AKHIR**

**Tugas Akhir ini diajukan untuk melengkapi syarat menyelesaikan Program  
Strata-1 pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik  
Universitas HKBP Nommensen**

**Medan**



**Oleh :**

**Erikson Parsaulian Harianja**  
**20330004**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HKBP NOMMENSEN**

**MEDAN**

**2024**

# PENGESAHAN

## RANCANG BANGUN MINIATUR PLTU DENGAN PEMANFAATAN SAMPAH ANORGANIK SEBAGAI BAHAN BAKAR

### TUGAS AKHIR

Oleh :

**ERIKSON PARSAULIAN HARIANJA**

**NPM : 20330004**

Lulus Sidang Tugas Akhir tanggal : 27 September 2024

Periode Semester GENAP T.A 2023/2024

Disahkan dan disetujui oleh :

Pembimbing I,

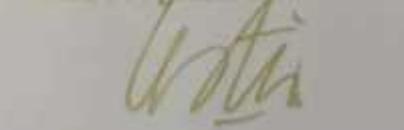
  
Dr. Ir. Timbang Pangaribuan, M.T.  
NIDN : 01211026402

Pembimbing II,

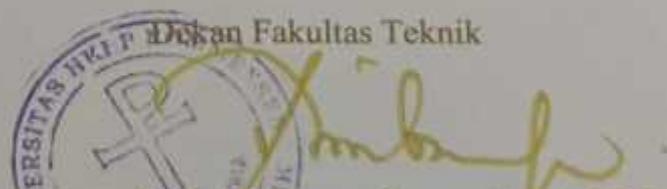
  
Ir. Fiktor Sihombing, MT  
NIDN : 0116046002

Diketahui Oleh :

Ketua Program Studi Teknik Elektro

  
Ir. Lestina Siagian, M.Si  
NIDN : 0120125901

Dekan Fakultas Teknik

  
  
Dr. Ir. Timbang Pangaribuan, M.T.  
NIDN : 0121026402

## **ABSTRAK**

Penelitian ini telah dilakukan yaitu merancang miniatur PLTU yang memanfaatkan sampah anorganik sebagai bahan bakar. Komponen utama miniatur PLTU dalam penelitian ini yaitu terdiri dari tungku, boiler mini, turbin sudah terkopel dengan generator, sensor temperatur, sensor tekanan, sensor kecepatan (rpm), sensor tegangan/daya, Lampu LED dan Display LCD. Dengan mengubah sampah menjadi energi listrik, miniatur PLTU ini berfungsi sebagai solusi potensial untuk mengurangi penumpukan sampah sekaligus menghasilkan energi terbarukan. Sistem ini menggunakan berbagai jenis sampah anorganik, seperti plastik dan kertas yang dibakar untuk memanaskan air pada boiler mini yang menghasilkan uap untuk memutar turbin dan generator. Hasil dari penelitian ini adalah daya keluaran, di bawah 10 watt, diuji menggunakan generator DC dan diukur dengan beban LED. Banyak sampah sangat berpengaruh terhadap pembakaran boiler untuk menghasilkan uap. Dari pengujian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa setiap uji mempunyai hasil output yang berbeda-beda, ini dikarenakan tahanan yang dipasangkan jumlahnya berbeda-beda dalam setiap percobaan.

**Kata Kunci : Energi Terbarukan, Miniatur PLTU, Sampah Anorganik**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini yang berjudul **“Rancang Bangun Miniatur PLTU dengan Pemanfaatan Sampah Anorganik sebagai Bahan Bakar”**. Penulisan tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam memperoleh gelar S1 pada Program Studi Teknik Elektro di Universitas HKBP Nommensen.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memerikan bantuan dan dukungan selama proses pengerjaan tugas akhir ini. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih secara kepada segenap pihak yang telah membantu:

1. Bapak Dr. Richard A.M. Napitupulu, ST.,M.T. selaku Rektor Universitas HKBP Nommensen Medan.
2. Bapak Dr. Ir. Timbang Pangaribuan, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik dan sebagai Dosen pembimbing I yang telah banyak membantu saya dalam banyak hal mulai dari ide-ide bahkan menyemangati saya selalu dan memberi masukan serta inspirasi baik selama perkuliahan maupun pengerjaan tugas akhir.
3. Bapak Ir. Fiktor Sihombing, M.T. selaku pembimbing ke II yang telah membimbing saya dan memberikan saya kesempatan serta memberikan banyak sekali pelajaran-pelajaran dalam beretika dan ide -ide dalam proses pengerjaan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Ir. Sindak Hutauruk, MSEE. selaku penguji I yang telah memberikan semangat dan dorongan kepada saya selama penyusunan tugas akhir.
5. Bapak Libianko Sianturi, S.,T., MT. selaku penguji II yang telah memberikan ide-ide untuk penyusunan tugas akhir saya dan dorongan kepada saya selama penyusunan tugas akhir ini.
6. Seluruh Dosen dan Staff Pegawai di Program Studi Teknik Elektro yang selalu sabar menghadapi dan selalu memberikan pelayanan yang terbaik untuk saya dalam menyelesaikan studi di Universitas HKBP Nommensen.

7. Ayahanda Hot Uli Harianja dan Ibunda Jusrina Panjaitan tercinta penulis, setiap langkah yang penulis tempuh dalam hidup ini tidak lepas dari doa dan restu kalian. Skripsi sederhana ini adalah bukti nyata kasih sayang dan perhatian kalian. Terima kasih telah menjadi sosok ayah dan ibu yang luar biasa dan atas segala dukungan, doa, dan pengorbanan yang telah kalian berikan. Penulis tidak akan pernah mampu membalas semua kebaikan kalian.
8. Martha Susy Harianja, Rezky Octaviana Harianja, dan Juni Ester Margaretha Harianja, kakak-kakak dan adik penulis yang terkasih. Terima kasih atas dukungan, motivasi, dan waktu berharga yang diberikan kepada penulis sehingga penulis tetap bersemangat dalam mengerjakan skripsi ini.
9. Anjeli Artha Br Manurung, seseorang yang selalu menemani di kala senang maupun sedih. Terima kasih karena selalu mendengarkan keluh kesah penulis, memberikan dukungan, motivasi, dan pengingat, serta menemani peneliti hingga tuntas menyelesaikan tesis ini.
10. Rekan-rekan seperjuangan Prodi Teknik Elektro angkatan 2020 yang selalu memberi bantuan dan memberikan semangat serta sama-sama berjuang untuk meraih gelar Sarjana.

Semoga hasil dari tugas akhir ini dapat bermanfaat dan berguna bagi kemajuan ilmu pengetahuan teknologi terutama dalam bidang merancang miniatur. Terakhir penulis merasa hasil tugas akhir yang telah di buat ini masih jauh dari kesempurnaan maka dari itu besar harapan penulis menerima saran dan kritik yang membangun.

Medan, 27 September 2024

**Erikson Parsaulian Harianja**  
**20330004**

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Metode Penelitian.....	4
1.7 Sistematis Penulisan.....	4
<b>BAB II LANDASAN TEORI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Dasar Umum Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).....	5
2.2 Siklus Dalam PLTU Secara Umum .....	9
2.3.1 Boiler.....	11
2.3.2 Turbin Uap .....	12
2.3.3 Kondensor .....	13
2.4 Cara Kerja PLTU .....	14
2.5 Fungsi PLTU .....	15
2.6 Kelebihan dan Kekurangan PLTU .....	16
2.7 Sampah Anorganik sebagai Bahan Bakar .....	16
2.7.1 Jenis-jenis Sampah Anorganik.....	17
2.7.3 Pengolahan Sampah Anorganik untuk Bahan Bakar .....	18
2.7.4 Metode Pengolahan.....	18
2.8 Pemanfaatan Sampah Anorganik pada miniatur PLTU .....	19
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>20</b>
3.1 Tempat Penelitian.....	20
3.2 Alat dan Bahan .....	20
3.3 Blok Diagram .....	22
3.4 Flowchart.....	23
3.5 Tahapan Pembuatan Alat .....	24

3.6 Jenis Sampel.....	25
3.7 Data Hasil Penelitian.....	25
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.1 Proses Awal.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.2 Proses Pembakaran dan Sistem Kontrol pada Miniatur PLTU Sampah Anorganik.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.3 Uji Teknis Alat .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.4 Sistem Kerja Tekanan Uap.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.5 Pengujian Efektifitas Bahan Bakar .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.6 Pengujian Output Generator pada Miniatur PLTU.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
4.7 Analisis Perbandingan Rata-rata Pengujian Output Generator .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.1 Kesimpulan.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
5.2 Saran.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 4.1 Pengujian Efektifitas Bahan Bakar.....</b>	<b>30</b>
<b>Tabel 4.2 Pengujian Output Generator pada Miniatur PLTU (Bahan Bakar Plastik).....</b>	<b>32</b>
<b>Tabel 4.3 Pengujian Output Generator pada Miniatur PLTU (Bahan Bakar kertas).....</b>	<b>34</b>
<b>Tabel 4.4 Pengujian Output Generator pada Miniatur PLTU (Bahan Bakar Plastik dan kertas).....</b>	<b>36</b>
<b>Tabel 4.5 Perbandingan Rata-rata Hasil Pengujian Output Generator.....</b>	<b>38</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Miniatur PLTU.....	4
Gambar 2.2 Skema perancangan miniatur PLTU.....	9
Gambar 2. 3 Boiler.....	10
Gambar 2.4 Turbin Uap.....	11
Gambar 2.5 Kondensor.....	13
Gambar 2.6 Sampah Anorganik.....	16
Gambar 3.1 Blok diagram Miniatur PLTU.....	21
Gambar 3.2 Flowchart sistem kerja miniatur PLTU.....	22
Gambar 4.1 Tampilan Miniatur Alat.....	26
Gambar 4.2 Grafik Pengujian Efektivitas Bahan Bakar.....	31
Gambar 4.3 Grafik Pengujian Output Generator pada Miniatur PLTU berbahan bakar kertas tipis.....	33
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Output Generator pada Miniatur PLTU berbahan Bakar Plastik dan Kertas.....	35
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Output Generator pada Miniatur PLTU berbahan Bakar Plastik dan Kertas.....	37
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Rata-rata Hasil Pengujian Output Generator.....	39

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi listrik adalah sumber daya yang dapat dihasilkan melalui berbagai proses pembangkitan tanpa batasan jumlah. Selain itu, energi listrik dikenal sebagai energi yang ramah lingkungan. Banyak sumber energi dapat diubah menjadi energi listrik, seperti air, angin, sinar matahari, biomassa, hingga pembangkit listrik tenaga uap. Seiring dengan meningkatnya konsumsi energi listrik dan pertumbuhan populasi setiap tahunnya, produsen energi terbarukan terus berupaya meningkatkan pasokan listrik mereka.

Seiring berjalannya waktu, kemajuan teknologi memunculkan banyak ide untuk merancang pembangkit listrik terbarukan. Selain sudah banyak pembangkit energi terbarukan yang berhasil dibangun dan dapat menghasilkan listrik, termasuk pembangkit listrik tenaga fotovoltaiik atau PLTS yang menggunakan sinar matahari sebagai prinsipnya, pembangkit listrik tenaga air kecil yang menggunakan air aliran rendah yang diproduksi di daerah irigasi dan dataran rendah, dan pembangkit listrik tenaga biogas. Umumnya limbah atau kotoran hewan difermentasi dan diubah menjadi biogas. Indonesia saat ini sedang menghadapi dua krisis besar: krisis energi dan krisis sampah. Di sisi lain, kebutuhan energi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk. Di sisi lain, jumlah sampah yang dihasilkan terus meningkat, khususnya sampah anorganik yang sulit terurai semakin meningkat.

Miniatur PLTU yang menggunakan pemanfaatan sampah anorganik sebagai bahan bakar menawarkan solusi potensial untuk mengatasi kedua krisis tersebut. Miniatur PLTU ini dapat menghasilkan listrik dari sampah, dapat mengurangi jumlah sampah yang dikirim ke tempat pembuangan sampah, dan menghasilkan energi listrik.

Sampah anorganik mengandung berbagai zat aktif yang dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. Pengolahan sampah anorganik yang benar sangat penting untuk mengurangi dampak negatif dan memanfaatkan sampah anorganik sebagai sumber energi alternatif. Perkembangan

industri pertanian, seperti industri pengolahan kopi, juga harus dibarengi dengan sistem

pengelolaan limbah yang tepat guna mengurangi pencemaran dan kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, miniatur PLTU merupakan solusi inovatif yang berpotensi besar mengatasi krisis energi dan sampah. Dengan pengembangan teknologi yang berkelanjutan dan dukungan kebijakan yang tepat, PLTU kecil berpotensi menjadi sumber energi alternatif yang penting di masa depan.

Pemilihan sampah anorganik sebagai bahan bakar untuk rancang bangun miniatur PLTU adalah untuk mengurangi dampak lingkungan yang dihasilkan oleh sampah sekaligus dapat menjadikan sampah anorganik menjadi bahan bakar untuk PLTU atau energi terbarukan.

Dengan seiring bertambahnya sampah anorganik semakin meningkat dari tahun ke tahun, dan diketahui bahwa sampah anorganik pada hakikatnya merupakan sampah yang tidak dapat terurai atau sangat lambat terurainya oleh alam maka dengan permasalahan yang telah diuraikan di atas penulis membuat satu alat untuk penanganan dan untuk mengurangi banyaknya sampah anorganik yaitu ***“RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP DENGAN PEMANFAATAN SAMPAH ANORGANIK”***

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka dalam Penelitian ini masalah yang akan menjadi fokus perhatian sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang dan merakit miniatur PLTU dengan kapasitas lebih kecil dari 10 watt, serta komponen-komponen yang bisa memenuhi sebagai miniatur PLTU?
2. Bagaimana melakukan proses pembakaran sampah anorganik secara khusus?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini memiliki tujuan antara lain:

1. Merancang miniatur PLTU dengan bahan bakar sampah anorganik.
2. Menghasilkan output yang memiliki tegangan pada generator Dc dan diuji dengan lampu LED.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak melakukan perhitungan dalam penentuan kapasitas pembangkit dengan cara uji coba 3 kali.
2. Melakukan perancangan komponen-komponen dengan cara uji coba berulang ulang beberapa kali sehingga diperoleh ukuran yang sesuai menghasilkan daya di bawah 10 watt.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat dimanfaatkan sebagai media praktikum mahasiswa teknik elektro di lab digital Universitas HKBP Nommensen tentang energi terbarukan.
2. Dapat merancang miniatur PLTU dengan bahan bakar sampah anorganik secara nyata.

#### **1.6 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang akan dilakukan ada beberapa tahap antara lain:

1. Studi Literatur

Studi ini digunakan untuk memperoleh informasi tentang teori-teori dasar sebagian sumber penulisan skripsi ini. Informasi dan pustaka yang berkaitan dengan masalah ini diperoleh dari literatur, penjelasan yang dibuat.

2. Perancangan uji coba berkali kali

Uji sistem ini berkaitan dengan pengujian system.

#### **1.7 Sistematis Penulisan**

Dalam penulisan laporan ini akan disusun secara sistematis yang terdiri atas bagian-bagian yang saling berhubungan sehingga diharapkan akan mudah dipahami dan dapat diambil manfaatnya.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Dasar Umum Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU)



**Gambar 2.1 Miniatur PLTU**  
*Sumber : jogjaplakat.com, 2024*

Pada **Gambar 2.1** PLTU merupakan salah satu jenis pembangkit listrik termal yang banyak digunakan karena produksi energi listriknya yang sangat efisien dan ekonomis. PLTU juga merupakan pengubah energi yang mengubah energi kimia pada bahan bakar menjadi energi panas dalam bentuk uap melalui proses pembakaran. Uap panas ini dialirkan ke turbin yang menghasilkan energi mekanik berupa putaran poros. Putaran yang dihasilkan turbin ini dapat memutar generator yang terhubung dengan turbin tersebut sekaligus menghasilkan energi listrik.

PLTU menggunakan fluida pembangkit listrik tenaga uap sirkulasi tertutup. Sirkuit tertutup berarti fluida yang sama digunakan berulang kali. Pada rangkaian sirkulasi pertama, boiler diisi hingga seluruh area perpindahan panas

terisi penuh. Dalam boiler, air dipanaskan dengan gas panas yang dihasilkan ketika bahan bakar dibakar dengan udara dan diubah menjadi uap. Uap yang dihasilkan pada tekanan konstan oleh boiler kemudian memutar turbin yang menghasilkan tenaga mekanik berupa putaran. Generator yang terhubung langsung ke turbin berputar, menghasilkan energi listrik melalui perputaran medan magnet di dalam kumparan. Uap dari keluaran turbin masuk ke kondensor kemudian didinginkan dengan air pendingin dan dikembalikan ke air yang disebut kondensat. Air kondensasi yang dihasilkan selama kondensasi uap digunakan kembali sebagai air pengisi boiler.

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha. Seseorang dikatakan sehat apabila mampu melakukan gerakan-gerakan fisik tertentu. Ketika energi diperoleh, energi tersebut berasal secara alami dari makanan yang kita makan, atau berasal dari proses kimia. Energi yang kita dapat dari makanan sebenarnya berasal dari matahari. Faktanya, semua energi yang kita gunakan di Bumi berasal dari Matahari. Batubara yang kita bakar, bensin yang kita gunakan di mobil, angin yang berhembus ke bumi, dan hujan yang turun ke bumi semuanya melepaskan energi. Energi dapat disimpan dalam berbagai bentuk, namun harus diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya sebelum kita dapat menggunakannya. Contohnya saat membuat teh, nyalakan kompor dan rebus air. Ini melibatkan konversi energi kimia bahan bakar menjadi energi panas untuk memanaskan air hingga titik didih. Ketika air panas kemudian didinginkan, energi panas ini dilepaskan ke udara sekitar.

Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, namun dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Contoh konversi energi adalah pusat produksi energi. Pada dasarnya, semua generator mengubah energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Saat batu bara terbakar, energi panas dilepaskan dan dipindahkan ke air di dalam boiler. Air diubah menjadi uap super panas di bawah tekanan dan uap ini dikirim ke turbin. Ketika uap melewati turbin, energi panas yang terkandung dalam uap dilepaskan. Saat uap yang mengalir menggerakkan turbin dan memutar poros, energi panas diubah menjadi energi mekanik.

Energi mekanik yang ditransfer oleh uap ke turbin terjadi melalui proses konversi energi. Uap bertekanan tinggi dan bersuhu tinggi yang dihasilkan oleh

boiler diubah menjadi energi kinetik ketika uap tersebut mengalir melalui turbin. Uap yang bergerak ini kemudian mengenai bilah-bilah turbin, menyebabkan putaran poros turbin. Proses konversi energi pada PLTU berlangsung melalui 3 tahapan yaitu :

1. Pertama, energi kimia dalam bahan bakar diubah menjadi energi panas dalam bentuk uap bertekanan dan temperatur tinggi.
2. Kedua, energi panas (uap) diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran.
3. Ketiga, energi mekanik diubah menjadi energi listrik.

Berikut penjelasan dari macam-macam dari bentuk energi yaitu.

#### 1. Energi Kimia

Energi kimia adalah suatu energi yang tersimpan di dalam persenyawaan kimia yang berbentuk ikatan antara atom yang satu dengan atom yang lainnya. Energi kimia adalah suatu energi yang dihasilkan dalam suatu proses kimia. Besarnya energi yang dihasilkan tergantung dari jenis dan jumlah pereaksi dalam suatu reaksi kimia.

#### 2. Energi Listrik

Energi listrik merupakan salah satu bentuk energi yang paling banyak digunakan. Energi ini dipindahkan dalam bentuk aliran muatan listrik melalui kawat logam konduktor yang disebut arus listrik. Energi listrik dapat diubah menjadi bentuk energi yang lain seperti energi gerak, energi cahaya, energi panas, atau energi bunyi.

#### 3. Energi Mekanik

Energi mekanik adalah energi yang disebabkan karena adanya suatu usaha yang berhubungan dengan gerakan yang terjadi pada benda. Energi mekanik terdiri dari energi potensial dan energi kinetik. Secara matematis dapat dituliskan: dengan,

$$E_m = E_p + E_k \quad (1)$$

$$E_m = m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} m \cdot v^2 \quad (2)$$

dimana,

$E_m$  = Energi Mekanik

$E_p$  = Energi Potensial

$E_k$  = Energi Kinetik

$m$  = massa

$g$  = gaya gravitasi

$h$  = tinggi benda

$v$  = kecepatan benda

a. Energi Potensial

Energi potensial adalah energi yang dimiliki benda karena posisinya (kedudukan) terhadap suatu acuan. Jika massa batu lebih besar maka energi yang dimiliki juga lebih besar, batu yang memiliki energi potensial ini karena gaya gravitasi bumi, energi ini disebut energi potensial bumi.

Energi potensial bumi tergantung pada massa benda, gravitasi bumi dan ketinggian benda, sehingga dapat dirumuskan:

dengan,

$$E_p = m \cdot g \cdot h \quad (3)$$

dimana,

$E_p$  = Energi Potensial

$m$  = massa benda

$g$  = gaya gravitasi

$h$  = tinggi benda

b. Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki benda karena gerakannya. Makin besar kecepatan benda bergerak makin besar energi kinetiknya dan semakin besar massa benda yang bergerak makin besar pula energi kinetik yang dimilikinya. Secara sistematis dapat dirumuskan:

dengan,

$$E_k = \frac{1}{2} (m \cdot v^2) \quad (4)$$

dimana,

$E_k$  = Energi kinetik

$m$  = massa benda

$v$  = kecepatan benda

Secara umum pembangkitan tenaga listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu:

Berdasarkan metode pembangkitannya dibagi menjadi 2 yaitu :

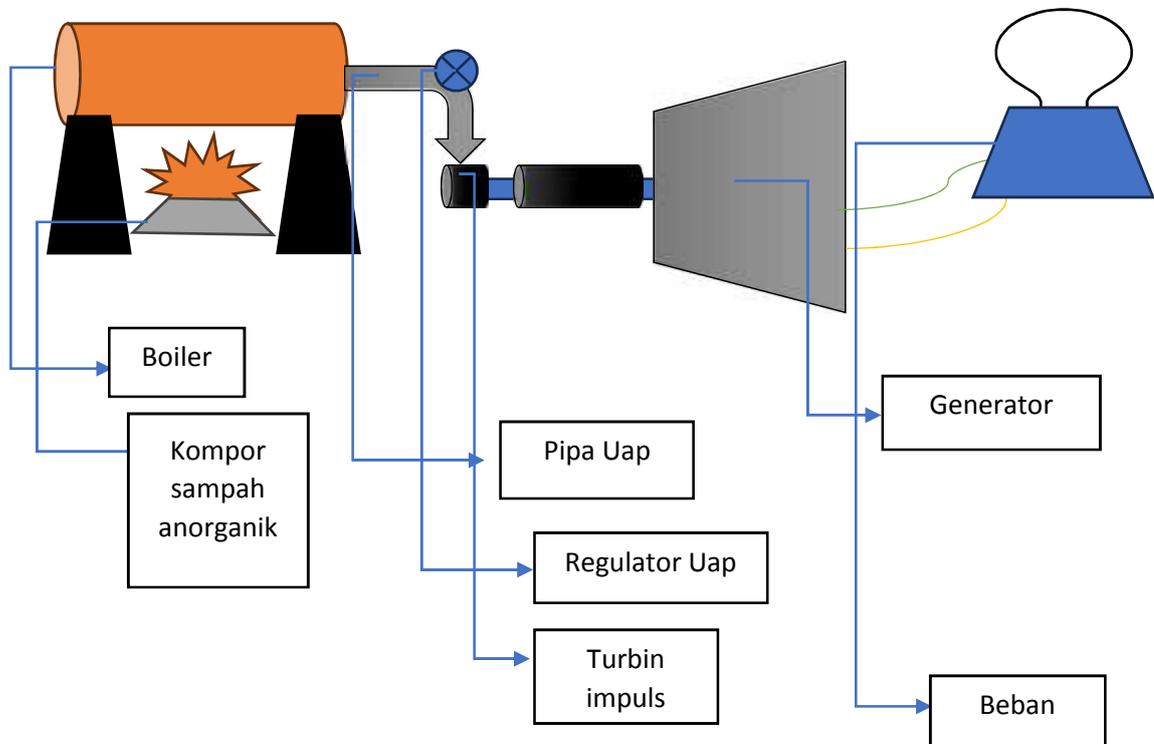
- a. Metode pembangkitan dengan konversi langsung (direct energy conversion) yaitu terbangkitnya energi listrik (dari energi primer) terjadi secara langsung, tanpa keterlibatan bentuk energi lain.
- b. Metode pembangkitan dengan konversi tak langsung (indirect energy conversion) yaitu terbangkitnya energi listrik (dari energi primer) berlangsung dengan cara melibatkan suatu bentuk energi lain. Bila energi lain yang berfungsi sebagai medium ini tidak ada, maka tidak akan terbangkit energi listrik.

Berdasarkan proses pembangkitannya, dapat dibedakan menjadi:

- a. Pembangkit non termal adalah generator yang beroperasi tanpa proses pemanasan atau pemanasan.
- b. Pembangkit termal, yaitu generator yang beroperasi melalui proses panas atau pembakaran.

## **2.2 Siklus Dalam PLTU Secara Umum**

Pembangkit listrik merupakan proses perubahan bentuk satu energi ke bentuk energi lain yang mana sebagai produknya berupa energi listrik. PLTU mengubah energi kimia dari bahan bakar menjadi energi panas yang ditransfer ke air pengisi (Ahmad Yani, 2018). Di bawah ini adalah gambar Miniatur PLTU bahan bakar sampah anorganik



**Gambar 2.2 Skema Perancangan Miniatur PLTU**

Seperti diketahui untuk merealisasikan transformasi energi pada berbagai komponen utama PLTU, diperlukan fluida perantara yang disebut fluida kerja. Fluida kerja yang dipakai di PLTU adalah air. Sebagai perantara, fluida kerja akan mengalir melintasi beberapa komponen utama PLTU dalam suatu siklus tertutup, seperti tampak pada gambar 1. Selama melewati lintasan tertutup tersebut, fluida kerja mengalami perubahan wujud yaitu dari air menjadi uap untuk kemudian menjadi air kembali. Karena itu siklus fluida kerja dapat dipisahkan menjadi dua sistem, yaitu sistem uap dan sistem air.

### **2.3 Komponen Utama PLTU**

Pembangkit listrik tenaga uap memiliki 4 komponen utama di antaranya yaitu terdiri dari pompa sebagai alat yang digunakan untuk menyuplai fluida, boiler sebagai tempat diproduksinya uap panas, turbin yang berfungsi sebagai tempat terjadinya ekspansi uap, dan kondensor sebagai alat pendingin.

### **2.3.1 Boiler**

Boiler adalah bejana bertekanan baja yang menghasilkan uap bersuhu tinggi. Uap super panas digunakan dalam industri sebagai alat pemanas, sebagai perkakas listrik, untuk membantu melakukan proses pemurnian, pengeringan, dan lain-lain. Pembangkit listrik tenaga uap menggunakan uap panas ini untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan energi listrik. Panas pada boiler diperoleh dengan membakar bahan bakar di dalam boiler itu sendiri. Bahan bakar yang umum digunakan adalah batu bara, minyak bumi, gas alam, atau reaksi nuklir.



**Gambar 2. 3 Boiler**

*Sumber : frigotechnik.nl.com*

Ditinjau dari isi di dalam tube boiler, boiler dibedakan menjadi dua:

1. Fire Tube Boiler

Fire tube boiler merupakan salah satu jenis ketel uap yang gas panas hasil pembakaran bahan bakarnya dialirkan melalui pipa-pipa yang dikelilingi oleh air. Panas dipindahkan dari gas panas melalui dinding pipa ke air di sekitarnya.

2. Water Tube Boiler

Water tube boiler, air berada di dalam pipa yang dikelilingi api, dan gas panas berada di luar pipa. Oleh karena itu, uap terbentuk di sejumlah besar pipa. Apabila ditinjau dari tekanan kerjanya, boiler dibagai menjadi 3 bagian yaitu sebagai berikut :

1. Boiler dengan tekanan rendah yaitu dengan tekanan 8-16 atm.
2. Boiler dengan tekanan menengah yaitu dengan tekanan 22-39 atm.
3. Boiler dengan tekanan tinggi yaitu dengan tekanan 60-230 atm.

### **2.3.2 Turbin Uap**

Turbin uap merupakan suatu mesin konversi yang mengubah energi kinetik yang terkandung dalam uap menjadi energi mekanik berupa putaran poros di dalam turbin. Prinsip kerjanya adalah dengan melewatkan uap melalui nosel, energi panas uap diubah terlebih dahulu menjadi energi kinetik. Uap tersebut kemudian diarahkan dengan kecepatan tinggi menuju sudut-sudut turbin sehingga menghasilkan energi mekanik berupa putaran poros turbin.



**Gambar 2.4 Turbin Uap**

*Sumber :green-mechanic.com*

Berdasarkan transformasi energi ,turbin uap dapat dibedakan menjadi 2 yaitu sebagai berikut :

1. Turbin Impuls

Turbin impuls merupakan turbin yang mempunyai sudu-sudu yang bertekanan konstan. Dalam hal ini, uap hanya mengembang di dalam sudu-sudu tetap. Bilah-bilah ini bertindak sebagai nosel, meningkatkan energi kinetik uap yang melewatinya.

2. Turbin Reaksi

Turbin reaksi adalah turbin yang terdiri dari 100% sudu reaksi. Bilah-bilah turbin ini berfungsi sebagai nosel uap yang mengalir melalui sudu-sudu, meningkatkan kecepatan uap dan menurunkan tekanannya. Dari segi tekanan akhir uap, turbin uap dibedakan menjadi 2 sebagai berikut adalah

a. Turbin Back Pressure

Turbin back pressure merupakan turbin-turbin yang tekanan akhirnya melebihi tekanan atmosfer. Hal ini disebabkan uap yang dikeluarkan dari turbin ini tidak mengalami kondensasi.

b. Turbin Kondensasi

Turbin kondensasi adalah turbin yang mengembunkan uap yang dihasilkan oleh turbin. Tekanan akhir turbin kondensasi diatur ke vakum sehingga temperatur kondensasi lebih tinggi dari temperatur air pendingin yang tersedia. Berdasarkan tekanan uap masuk, turbin uap dibedakan menjadi 5:

1. Tekanan super kritis (225 bar)
2. Tekanan sangat tinggi (170 bar ke atas)
3. Tekanan tinggi (di atas 40 bar)
4. Tekanan menengah (s/d 40 bar)
5. Tekanan rendah (1,2 – 2 bar)

### 2.3.3 Kondensor

Kondensor adalah suatu komponen yang berfungsi sebagai alat pendingin yang mengubah uap atau campuran yang dihasilkan turbin menjadi cairan atau cairan jenuh. Ada dua cairan yang mengalir melalui kondensor. Salah satunya adalah cairan panas, yaitu uap atau campuran yang berasal dari turbin, dan yang lainnya adalah cairan dingin, biasanya berasal dari menara pendingin. Panas dari cairan panas dipindahkan ke cairan dingin, sehingga terjadi perubahan fasa dari uap atau campuran menjadi cairan atau cairan jenuh.



## **Gambar 2.5 Kondensor**

*Sumber: ide.jinhaocooler.com*

### **2.4 Cara Kerja PLTU**

#### a) Proses pembakaran batubara atau minyak bumi

Proses awal dalam sistem ini adalah pembakaran bahan bakar, seperti batubara atau minyak bumi, yang dilakukan di dalam tungku boiler. Bahan bakar dibakar untuk menghasilkan panas dengan suhu tinggi yang kemudian digunakan untuk mengubah air menjadi uap.

Proses pembakaran dilakukan dengan bantuan burner, sebuah alat yang berfungsi untuk mengalirkan udara dan bahan bakar ke dalam tungku. Burner membantu mengatur perbandingan yang tepat antara udara dan bahan bakar, sehingga pembakaran dapat berlangsung lebih efisien. Dari pembakaran ini, dihasilkan zat-zat seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan CO<sub>2</sub>.

#### b) Mengubah air menjadi Uap

Setelah proses pembakaran selesai, langkah berikutnya adalah mengubah air menjadi uap. Proses ini umumnya menggunakan sebuah perangkat yang disebut boiler, yang merupakan salah satu komponen utama dalam sistem pembangkit tenaga uap.

Boiler terdiri dari beberapa komponen seperti superheater, pipa uap, economizer, tungku, dan air preheater. Air pertama kali dimasukkan ke dalam economizer untuk dipanaskan menggunakan gas-gas buang dari tungku. Setelah melewati economizer, air dipindahkan ke pipa uap, di mana pemanasan lebih lanjut dilakukan menggunakan panas dari boiler. Ketika air mencapai suhu tertentu, uap yang dihasilkan akan dilewatkan melalui superheater sebelum diarahkan menuju turbin.

#### c) Mengubah uap air menjadi energi mekanik

Tahap selanjutnya adalah mengubah uap air menjadi energi mekanik dengan memutar turbin. Ada beberapa jenis turbin yang digunakan, seperti turbin satu tahap, dua tahap, dan tiga tahap. Turbin satu tahap memiliki satu bilah turbin, sedangkan turbin dua dan tiga tahap masing-masing memiliki dua dan tiga bilah,

sehingga lebih efisien dalam operasinya. Putaran turbin ini kemudian dikonversi oleh generator untuk menghasilkan energi listrik.

d) Menjadi energi listrik

Terakhir, generator akan mengonversi energi mekanik dari turbin menjadi energi listrik melalui prinsip induksi elektromagnetik. Energi dari turbin memutar kumparan di dalam genera tor, sehingga menghasilkan arus listrik. Arus ini kemudian disalurkan ke transformator. Transformator adalah komponen penting yang berfungsi untuk mengatur tegangan listrik, baik meningkatkan maupun menurunkannya. Biasanya, generator menghasilkan tegangan rendah, sehingga transformator berperan penting dalam meningkatkan tegangan agar sesuai dengan kebutuhan.

## **2.5 Fungsi PLTU**

### **1. Sumber Energi yang Dapat Diandalkan**

PLTU mampu beroperasi secara terus-menerus, 24 jam sehari dan 7 hari seminggu. Keberlangsungan operasional ini tergantung pada ketersediaan bahan bakar. Di Indonesia, pasokan bahan bakar untuk PLTU cukup melimpah dan mudah diakses.

Bahan bakar yang paling umum digunakan oleh PLTU adalah batu bara, namun ada juga yang menggunakan gas atau minyak bumi.

### **2. Menyediakan Listrik yang Stabil**

Listrik yang dihasilkan oleh PLTU dapat disesuaikan dengan kebutuhan wilayah tertentu. Hal ini menjadikan pasokan listrik dari PLTU lebih stabil dan mengurangi risiko gangguan pasokan energi listrik di suatu daerah.

PLTU merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang paling banyak digunakan di Indonesia dan berperan sebagai pemasok utama listrik. Oleh karena itu, penting untuk memahami cara kerja dan fungsinya.

## **2.6 Kelebihan dan Kekurangan PLTU**

Seperti halnya pembangkit listrik lainnya, sistem ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Berikut beberapa contohnya:

### **1. Efisiensi dalam Menghasilkan Energi**

Kelebihan utama dari sistem ini adalah efisiensinya dalam menghasilkan energi, dengan tingkat konversi energi mencapai 50%. Angka ini cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan sumber energi listrik lainnya, seperti tenaga angin atau surya.

### **2. Sumber yang Dapat Diandalkan**

Salah satu keunggulan dari pembangkit ini adalah kemampuannya untuk beroperasi kapan saja. Sistem ini menggunakan bahan bakar yang mudah diakses, terutama di Indonesia, dengan batu bara sebagai bahan bakar yang paling umum digunakan. Selain itu, beberapa pembangkit juga memanfaatkan alternatif bahan lain seperti gas alam atau minyak.

### **3. Polusi**

Di sisi lain, pembangkit bertenaga uap memiliki potensi besar untuk menyebabkan polusi, baik udara maupun air. Hal ini disebabkan oleh proses pembakaran yang menghasilkan gas-gas seperti NO<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub>.

Meskipun terdapat kelebihan dan kekurangan tersebut, PLTU masih dianggap sebagai salah satu sumber pembangkit listrik yang cukup baik. Penting untuk menjaga batasan agar tidak menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan. Selain itu, seiring berjalannya waktu, bahan bakar mungkin akan menipis, sehingga diperlukan alternatif sumber pembangkit listrik lainnya. Hal ini sangat penting mengingat listrik kini menjadi kebutuhan primer, baik dalam industri maupun kehidupan sehari-hari.

## **2.7 Sampah Anorganik sebagai Bahan Bakar**

Sampah anorganik adalah sampah yang sudah tidak dipakai lagi dan sulit terurai. Sampah anorganik yang tertimbun di tanah dapat menyebabkan pencemaran tanah karena sampah anorganik tergolong zat yang sulit terurai dan sampah itu akan tertimbun dalam tanah dalam waktu lama, ini menyebabkan rusaknya lapisan tanah. Sampah anorganik dapat menjadi alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Dalam bukunya Pengantar Ilmu

Kesehatan Lingkungan (1990), Azwar menyebutkan bahwa pengertian sampah adalah sebagian dari sesuatu yang tidak dipakai, tidak disenangi atau sesuatu yang harus dibuang yang umumnya berasal dari kegiatan yang dilakukan manusia (termasuk kegiatan industri) tetapi bukan biologis karena kotoran manusia (human waste) tidak termasuk ke dalamnya.



**Gambar 2.6 Sampah Anorganik**

*Sumber: slideshare.net.com*

### **2.7.1 Jenis-jenis Sampah Anorganik**

Berikut beberapa jenis sampah anorganik yang dapat digunakan sebagai bahan bakar:

- a. Plastik: Jenis sampah anorganik yang paling umum dan memiliki nilai kalor tinggi. Contohnya: plastik
- b. Kertas: Memiliki nilai kalor yang cukup tinggi dan mudah terbakar. Contohnya: koran, kardus, kertas bekas.
- c. Karet: Memiliki nilai kalor yang tinggi dan menghasilkan sedikit abu. Contohnya: ban bekas, potongan karet.
- d. Tekstil: Memiliki nilai kalor yang cukup tinggi dan dapat dicampur dengan bahan bakar lain. Contohnya: kain bekas, pakaian usang.
- e. Kayu: Memiliki nilai kalor yang tinggi dan mudah terbakar. Contohnya: ranting pohon, potongan kayu.

### **2.7.2 Karakteristik Sampah Anorganik sebagai Bahan Bakar**

Sampah anorganik memiliki beberapa karakteristik yang membuatnya berpotensi sebagai bahan bakar alternatif. Berikut beberapa karakteristik sampah anorganik sebagai bahan bakar adalah

- a. Nilai kalor: Beragam tergantung jenisnya. Plastik memiliki nilai kalor tertinggi, diikuti oleh karet, kertas, dan tekstil.
- b. Kadar air: Semakin rendah kadar air, semakin mudah terbakar. Sampah anorganik perlu dikeringkan sebelum digunakan.
- c. Kadar abu: Semakin rendah kadar abu, semakin sedikit emisi yang dihasilkan.

### **2.7.3 Pengolahan Sampah Anorganik untuk Bahan Bakar**

Pengolahan sampah anorganik menjadi bahan bakar merupakan solusi inovatif untuk mengatasi permasalahan sampah dan energi. Berikut beberapa pengolahan sampah anorganik menjadi bahan bakar adalah

- a. Penyortiran: Sampah anorganik dipilah berdasarkan jenisnya.
- b. Pencacahan: Sampah anorganik dipotong-potong menjadi ukuran yang lebih kecil.
- c. Pengeringan: Sampah anorganik dikeringkan untuk mengurangi kadar air.
- d. Pencampuran: Sampah anorganik dapat dicampur dengan bahan bakar lain untuk meningkatkan kualitas pembakaran.

### **2.7.4 Metode Pengolahan**

Berikut metode pengolahan sampah anorganik menjadi bahan bakar adalah

- a. Pirolisis: Proses pemanasan sampah anorganik tanpa oksigen untuk menghasilkan gas, minyak, dan arang.
- b. Gasifikasi: Proses pemanasan sampah anorganik dengan oksigen terbatas untuk menghasilkan gas sintetis.
- c. Pembakaran langsung: Sampah anorganik dibakar langsung untuk menghasilkan panas.

Pemanfaatan Sampah Anorganik sebagai Bahan Bakar. Berikut pemanfaatan sampah anorganik sebagai bahan bakar :

- a. Pembangkit Listrik: Sampah anorganik dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk PLTU.
- b. Industri: Sampah anorganik dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk boiler dan tungku industri.
- c. Rumah Tangga: Sampah anorganik dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk kompor dan tungku masak

## **2.8 Pemanfaatan Sampah Anorganik pada miniatur PLTU**

Pemanfaatan sampah anorganik sebagai bahan bakar pada PLTU merupakan salah satu upaya untuk mengatasi masalah pengelolaan sampah dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar . Meskipun masih terdapat beberapa tantangan teknis, potensi pemanfaatan sampah anorganik sebagai sumber energi sangat besar. Dengan pengembangan teknologi yang tepat dan dukungan kebijakan yang memadai, pemanfaatan sampah anorganik dapat menjadi solusi yang berkelanjutan untuk masalah energi dan lingkungan.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Mei 2024 bertempat di lab Teknik Digital Universitas HKBP Nommensen.

#### **3.2 Alat dan Bahan**

Adapun Komponen yang digunakan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Bahan bakar berupa sampah anorganik seperti plastik dan kertas

b. Boiler mini

Spesifikasi

1. KIRIN panci Presto Pressure Cooker
2. Model KPC-040
3. Diameter : 20cm
4. Kapasitas : 4 liter

c. Turbin sudah terkopel dengan Generator

Spesifikasi

1. Generator Turbin Air
2. Tegangan Output: 12 V
3. Daya: 10W
4. Resistansi 10,5 0.5
5. Ketahanan lebih dari 3000 jam
6. Noise <55dB
7. Resistansi Insulasi 10M
8. Maksimum Tekanan: 0.6 Mpa

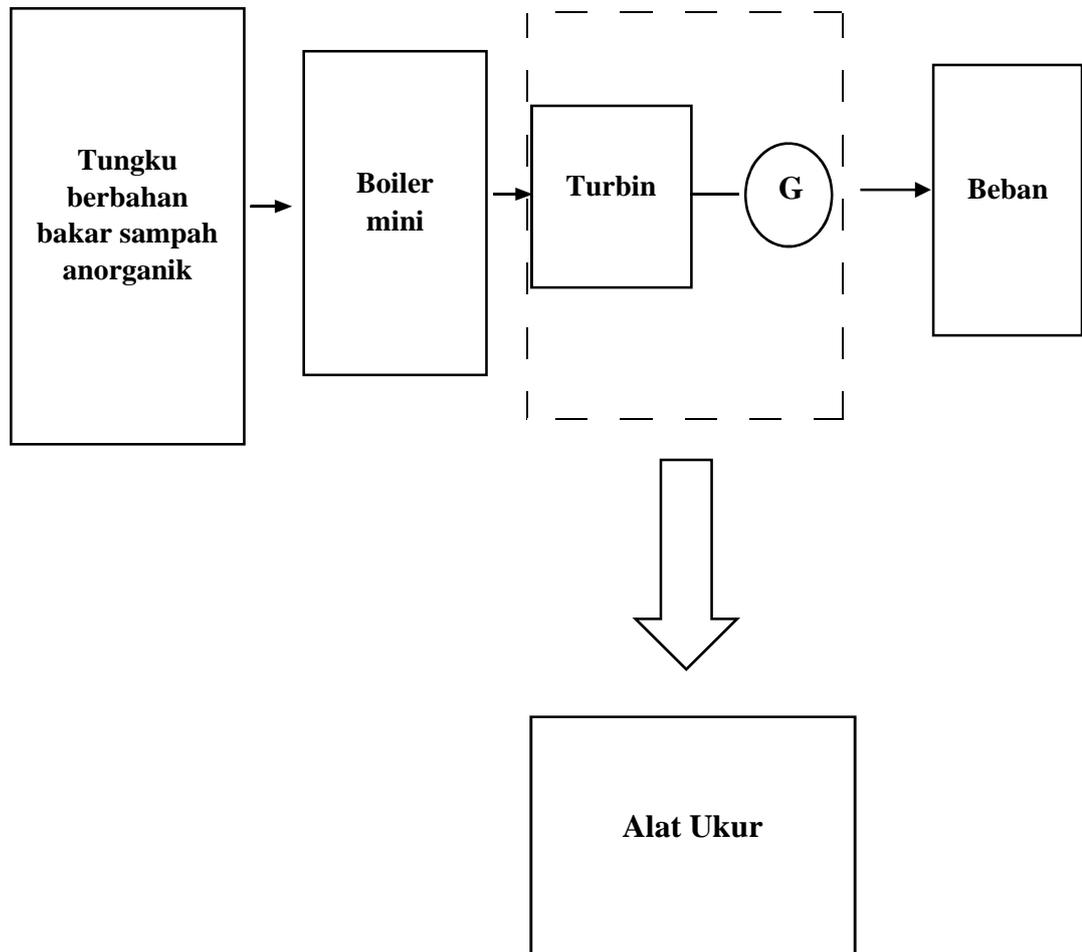
d. Sensor temperatur

Spesifikasi

1. Sensor Suhu DS18B20
2. Dibungkus pipa stainless stell 6x 50 mm kualitas tinggi anti air dan anti karat
3. Panjang kabel 100cm
4. Power supply 3-5.5V

5. Range suhu -55s/d + 125C
- e. Sensor tekanan
- Spesifikasi
1. Pressure Transmitter
  2. Berat satuan 150g
  3. Power supply; 5VDC
  4. Tegangan keluaran 0.5-4.5 VDC
  5. Panjang kabel: 19cm
  6. Tekanan Maksimum: 2,4 MPa
  7. Bahan: Stainless
- f. Sensor kecepatan (rpm)
- Spesifikasi
- Tidak ada karena sudah berada dalam generator
- g. Sensor tegangan/daya
- Spesifikasi
- Tidak ada karena sudah berada dalam generator
- h. Lampu LED
- Spesifikasi
1. Merek :IND Onderdill
  2. Panjang: 7cm
  3. Lebar: 2cm
  4. Voltase: 12 V
  5. Watt: 3W
  6. Berat 9 gram
- i. Display LCD
- Spesifikasi
1. LCD 16 x 2

### 3.3 Blok Diagram

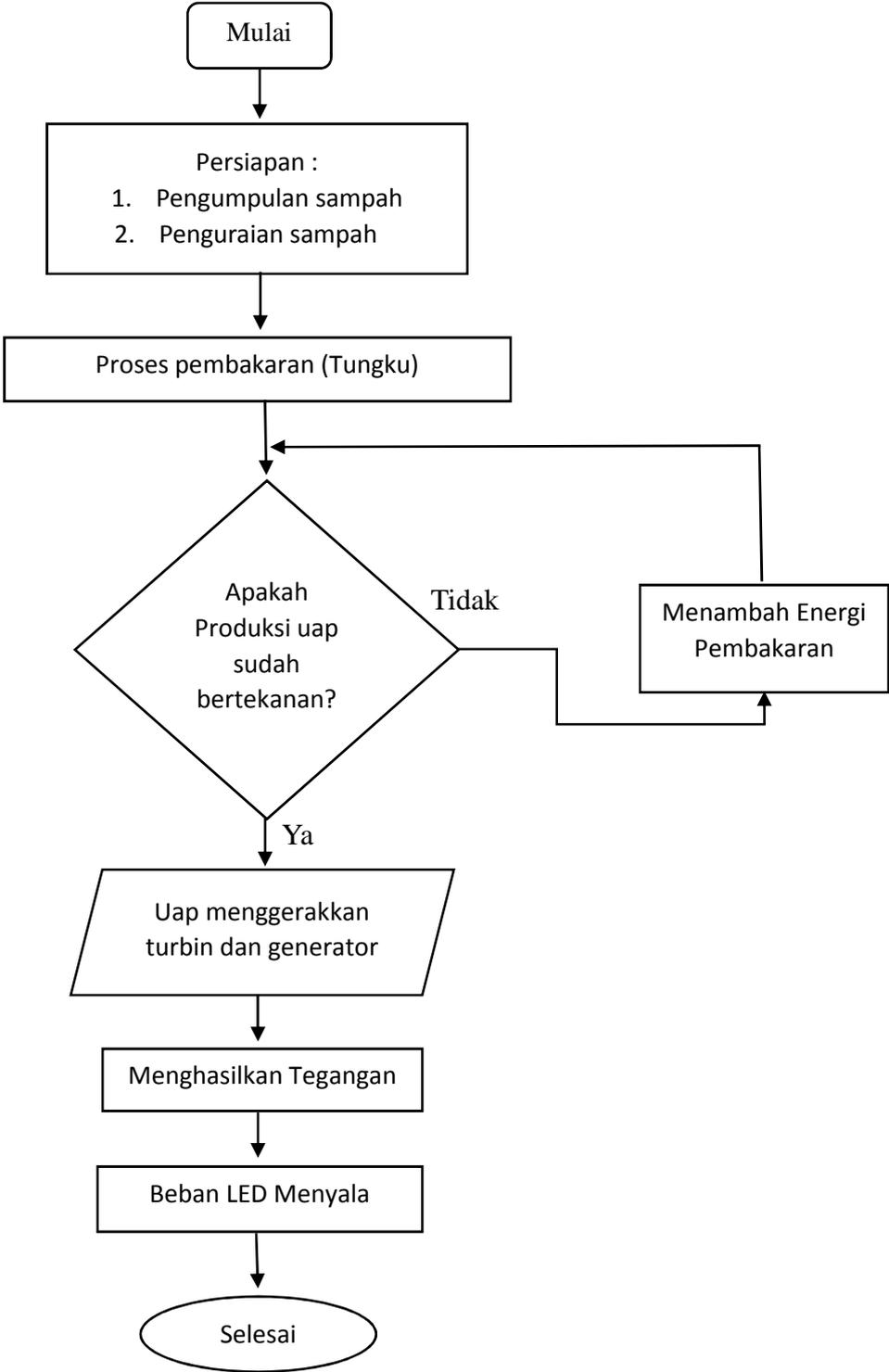


**Gambar 3.1 Blok diagram Miniatur PLTU**

Penjelasan dan fungsi dari masing-masing blok adalah sebagai berikut:

1. Tungku berbahan bakar menggunakan limbah anorganik dan memanaskan tungku untuk proses pembakaran pada boiler.
2. Boiler berfungsi sebagai wadah berisi air untuk di panaskan menjadi uap yang dihasilkan untuk memutar turbin.
3. Turbin menghasilkan energi mekanik berupa rotasi menggerakkan generator.
4. Generator berfungsi menghasilkan listrik setelah menerima putaran pada turbin.
5. Beban listrik untuk miniatur biasanya lampu LED.

**3.4 Flowchart**



**Gambar 3.2 Flowchart sistem kerja miniatur PLTU.**

Flowchart pada Gambar 3.2 di atas adalah dimulai dari persiapan yaitu melakukan pengumpulan sampah dan penguraian sampah, kemudian akan melakukan proses pembakaran sampah anorganik pada tungku agar, apakah produksi uap sudah bertekanan? jika Tidak uap belum bertekanan maka akan melakukan penambahan energi pembakaran. Lalu, jika YA uap sudah bertekanan maka dapat menggerakkan turbin dan generator yang akan menghasilkan tegangan untuk menyalakan Lampu LED, setelah lampu LED menyala maka selesai.

### **3.5 Tahapan Pembuatan Alat**

Peneliti menggunakan beberapa tahapan pembuatan alat yang terdiri dari :

#### **1. Persiapan**

##### **a. Perancangan:**

- 1) Menentukan spesifikasi miniatur PLTU, seperti dimensi, kapasitas boiler, dan jenis turbin.
- 2) Membuat gambar detail miniatur PLTU.
- 3) Menghitung kebutuhan bahan dan alat.
- 4) Pengumpulan Bahan dan Alat:
- 5) Membeli bahan dan alat yang diperlukan.

##### **b. Pembangunan Miniatur PLTU:**

- 1) Membangun miniatur PLTU sesuai dengan gambar detail.
- 2) Memastikan keamanan dan keandalan miniatur PLTU.

#### **2. Pengujian**

##### **a. Uji Coba Pembakaran Sampah Anorganik:**

- a. Melakukan uji coba pembakaran berbagai jenis sampah anorganik.
- b. Mengamati dan mencatat hasil pembakaran.

##### **b. Pengukuran Efisiensi Energi:**

- a. Mengukur energi yang dihasilkan dari pembakaran sampah anorganik.
- b. Mengukur energi yang digunakan untuk mengoperasikan miniatur PLTU.
- c. Menghitung efisiensi energi miniatur PLTU.

#### **3. Dokumentasi**

- a. Mendokumentasikan seluruh proses penelitian, mulai dari perancangan, pembangunan, dan uji coba.

- b. Dokumentasi dapat berupa foto, video, dan laporan tertulis.

#### 4. Evaluasi

- a. Melakukan evaluasi terhadap hasil penelitian.
- b. Merumuskan rekomendasi untuk pengembangan miniatur PLTU di masa depan.

Adapun rancangan pre-test dan post-test sebagai berikut adalah

- a. Pre-test: Melakukan pengukuran awal terhadap variabel terikat (efisiensi energi) sebelum perlakuan diberikan.
- b. Perlakuan: Memberikan perlakuan, yaitu membakar sampah anorganik di miniatur PLTU.
- c. Post-test: Melakukan pengukuran akhir terhadap variabel terikat (efisiensi energi) setelah perlakuan diberikan.

#### **3.6 Jenis Sampel**

Jenis sampah anorganik yang digunakan sebagai bahan bakar:

- a. Kertas tipis
- b. Kertas tebal
- c. Kombinasi plastik dan kertas

#### **3.7 Data Hasil Penelitian**

Adapun prosedur penelitian ini sebagai berikut adalah

- a. Merancang dan membangun miniatur PLTU
- b. Melakukan uji coba pembakaran sampah anorganik
- c. Mengukur efisiensi energi yang dihasilkan
- d. Mendokumentasikan seluruh proses penelitian