



Utilization of inorganic waste as a renewable alternative for steam power generation in North Bengkulu Regency

Pemanfaatan sampah anorganik sebagai alternatif terbarukan pembangkit listrik tenaga uap kabupaten Bengkulu utara

M Habibur Rohman^{1*}, Fingka Rahma Dela², Fika Vifian Julina³, Wellan Parmata Sari⁴, Zella Aprilia Rusli⁵

¹⁻⁵pendidikan fisika, FKIP Universitas Bengkulu, Indonesia

Corresponden E-Mail: 1muhammadhabibburrohman7@gmail.com

2fingkard@gmail.com 3fikafivianjulina@gmail.com 4Welanpermata4@gmail.com 5zellarusli33@gmail.com

Makalah: Diterima xx November xxxx; Diperbaiki xx Maret xxxx; Disetujui xx Maret xxxx
Corresponding Author: Name

Abstrak

Peningkatan sampah anorganik di Provinsi Bengkulu menyebabkan pencemaran lingkungan dan penumpukan di TPA. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian dilakukan guna menganalisis potensi pemanfaatan sampah anorganik sebagai sumber energi terbarukan melalui sistem Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Metode yang digunakan meliputi observasi dan analisis kuantitatif jumlah sampah serta potensi energi yang dihasilkan. Hasil menunjukkan bahwa total rata-rata sampah dari Provinsi Bengkulu dan Bengkulu Utara mencapai 10.266,5 ton/hari. Perhitungan energi menunjukkan bahwa proses pembakaran sampah mampu menghasilkan 131,7 MWh per tahun dan daya harian mencapai 15,03 MW. Temuan ini membuktikan bahwa sampah anorganik memiliki potensi signifikan sebagai bahan bakar alternatif dalam sistem PLTU dan dapat membantu mengurangi volume sampah sekaligus menyediakan energi listrik terbarukan bagi wilayah Bengkulu.

Kata kunci: sampah anorganik, energi terbarukan, pembangkit listrik tenaga uap, Bengkulu utara, waste to energi

Abstract

The increase of inorganic waste in Bengkulu Province has led to environmental pollution and landfill accumulation. To address this issue, this study analyzes the potential of utilizing inorganic waste as a renewable energy source through a Steam Power Plant (PLTU) system. The method includes observation and quantitative analysis of waste volume and its energy potential. Results indicate that the combined average waste from Bengkulu Province and North Bengkulu reaches 10,266.5 tons/day. Energy calculations show that waste combustion can generate 131.7 MWh of electricity per year and a daily power output of 15.03 MW. These findings demonstrate that inorganic waste has significant potential as an alternative fuel for steam power plants and can help reduce waste volume while supplying renewable electricity for the Bengkulu region.

Keywords: inorganic waste, renewable energy, steam power plant, north Bengkulu, waste to energy

1. Introduction

Dibalik keindahan daerah Provinsi Bengkulu terdapat populasi dan peningkatan ekonomi yang menyebabkan lonjakan volume sampah yang padat dan signifikan, dengan rata-rata sampah yang mencapai 70% dengan perharinya bisa mencapai seratus mobil berukuran kecil dan untuk mobil besar bisa mencapai puluhan mobil seperti mobil truk, mobil dinas pengangkut sampah dan lain lain. Pengelolaan sampah yang tidak memadai, terutama di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), sering kali menimbulkan masalah lingkungan serius, termasuk pencemaran tanah dan air, serta emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada perubahan iklim. Terutama pada sampah dari fraksi non-organik seperti plastik, kertas, dan tekstil, yang bersifat non-biodegradable dan terus menumpuk di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) hingga mencapai titik kritis.

Meskipun menjadi polusi lingkungan jangka panjang, fraksi non-organik yang mudah terbakar ini memiliki nilai kalor (*Calorific Value*) yang tinggi, menjadikannya komponen bahan bakar yang ideal. Sampah anorganik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan non-hayati, baik berupa produk sinterik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang. Sampah anorganik ialah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan non hayati baik berupa produk sinterik maupun hasil proses teknologi pengolahan bahan tambang atau sumber daya alam dan tidak dapat diuraikan oleh alam (Marliani 2014).

Pada saat yang sama, kebutuhan energi listrik yang stabil dan berkelanjutan terus meningkat untuk menopang pembangunan daerah.. Salah satu cara mengatasi masalah ini dengan penerapan konsep *Waste-to-Energy* (WtE). Di antara berbagai teknologi WtE, Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbasis insinerasi atau gasifikasi sampah menawarkan potensi besar untuk mengubah volume besar SPP menjadi energi listrik terbarukan, sekaligus mengurangi secara drastis sampah yang harus ditimbun. Konversi Sampah menjadi Energi adalah teknologi menghasilkan energi berupa panas ataupun listrik dari sampah. Teknologi konversi sampah ini dapat meminimalkan sampah dengan cara kompres serta menghasilkan energi sehingga mendukung energi berkelanjutan (Maryuni-teknika-polsri- 2021). Kemudian sistem PLTU sampah fraksi non organik yang telah dikeringkan lalu diproses menjadi bahan bakar turunan sampah (PDF) setelah itu dibakar dalam boiler secara terkontrol untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi, uap inilah yang kemudian diarahkan untuk memutar turbin dan generator, mengubah sampah menjadi energi terbarukan yang akan dapat di salurkan ke jaringan sekaligus mengurangi secara drastis volume sampah yang harus di timbun.

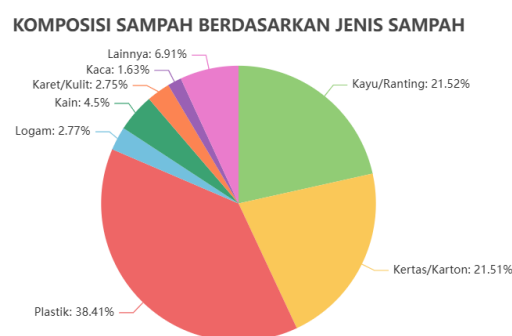
Tujuan dari kajian ini adalah untuk memanfaatkan sekaligus mengurangi volume sampah di Kota Bengkulu dengan cara menjadikan uap dari sampah sebagai pembangkit listrik tenaga Uap (PLTU) sehingga volume sampah yang ada berkurang dan dapat menjaga kebersihan dan kelestarian di daerah Provinsi Bengkulu terutama Kota Bengkulu.

2. Materials and Method

Metode menggunakan metode observasi dan metode kuantitatif dengan menghitung jumlah energi sampah yang akan dihasilkan menjadi energi tenaga listrik.

2.1 Pengelolaan Sampah

Peningkatan jumlah sampah mengakibatkan permasalahan untuk melakukan suatu pengelolaan terhadap sampah, secara umum sampah biasanya berasal dari sampah rumah tangga, pasar, perkantoran, dan juga kegiatan industri. Jenis sampah seperti sampah sisa makan menjadi sangat dominan, disisi lain sampah anorganik seperti sampah plastik, kertas dan logam memiliki kontribusi tumpukan sampah harian, dapat dilihat dari komposisi sampah yang ada di Bengkulu itu sendiri :



Gambar 1. Komposisi sampah Bengkulu berdasarkan jenis (plastik, organik, dan logam)

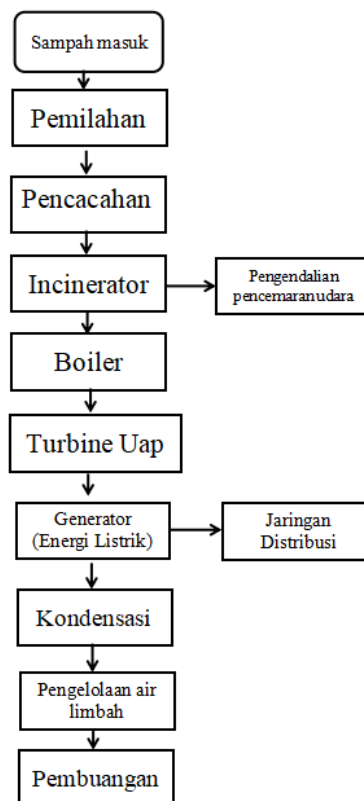
Berdasarkan Gambar 1, komposisi sampah di Bengkulu didominasi oleh sampah plastik dengan persentase sekitar 38,41% dibandingkan fraksi sampah lainnya. Tingginya proporsi sampah plastik menunjukkan bahwa jenis sampah ini menjadi permasalahan utama karena sulit terurai secara alami. Oleh karena itu, diperlukan perlakuan khusus terhadap sampah plastik, salah satunya melalui pemanfaatannya sebagai bahan baku alternatif dalam sistem konversi energi.



Gambar.2 sampah plastik yang ada di TPA

2.2. Pembangkit Listrik Tenaga uap menggunakan Sampah

Pembangkit Listrik tenaga uap yang memanfaatkan sampah bekerja dengan cara memproses sampah menjadi suatu sumber energi. Sampah yang sudah di kumpulkan di sortir untuk memisahkan sampah-sampah yang tidak dapat dibakar yang kemudian akan dikeringkan atau dicacah agar mudah di proses. Setelah itu ,sampah akan dimasukan ke dalam incinerator dan Dibakar pada suhu yang tinggi sehingga menghasilkan energi panas. Energi inilah yang dimanfaatkan untuk memanaskan air yang ada didalam boyler sehingga berubah menjadi uap yang bertekanan. Uap tersebut kumudian akan diarahkan ke turbin,membuat turbin berputar dan menghasilkan energi mekanik. Energi putaran turbin selanjutnya akan di ubah menjadi energi Listrik melalui generator. Sisa pembakaran dari itu berupa abu dan gas buang tetap melalui tahap pengolahan agar tidak ada lingkungan yang tercemar. Dengan adanya alur ini sistem PLTU berbasis sampah yang akan di gunakan mampu mengurangi jumlah sampah sekaligus memberikan energi Listrik bagi banyak nya Masyarakat yang membutuhkan. Alur kerja sistem Waste to Energy (WtE) berbasis insinerasi yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar.3 diagram Diagram alur sistem Waste to Energy (WtE) berbasis insinerasi

Boiler pada sistem Waste to Energy (WtE) berfungsi sebagai komponen utama yang mengonversi energi panas hasil pembakaran sampah anorganik di dalam incinerator menjadi energi uap bertekanan tinggi. Kinerja termal boiler sangat menentukan efisiensi keseluruhan sistem pembangkitan listrik. Analisis termal boiler dalam penelitian ini ditinjau melalui tiga parameter utama, yaitu heat rate, laju aliran massa uap (mass flow rate), dan kualitas uap (steam quality).

1. Heat Rate Boiler

Heat rate merupakan ukuran efisiensi termal yang menyatakan jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan energi listrik. Secara umum, heat rate didefinisikan sebagai perbandingan antara energi panas yang masuk ke sistem boiler dengan energi listrik yang dihasilkan oleh generator. Semakin kecil nilai heat rate, maka semakin efisien sistem pembangkit tersebut. Pada sistem PLTU berbasis sampah, heat rate dipengaruhi oleh nilai kalor sampah, efisiensi pembakaran di incinerator, serta kemampuan boiler dalam mentransfer panas ke fluida kerja (air).

2. Laju Aliran Massa Uap (Mass Flow Rate)

Laju aliran massa uap menunjukkan jumlah uap yang dihasilkan boiler per satuan waktu. Parameter ini sangat penting karena menentukan besarnya energi termal yang dapat dikonversi menjadi energi mekanik pada turbin uap. Mass flow rate dipengaruhi oleh besarnya energi panas yang dihasilkan dari pembakaran sampah, kapasitas boiler, serta kondisi operasi seperti tekanan dan temperatur uap. Semakin besar laju aliran massa uap yang dihasilkan, maka semakin besar pula potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh sistem.

3. Kualitas Uap (Steam Quality)

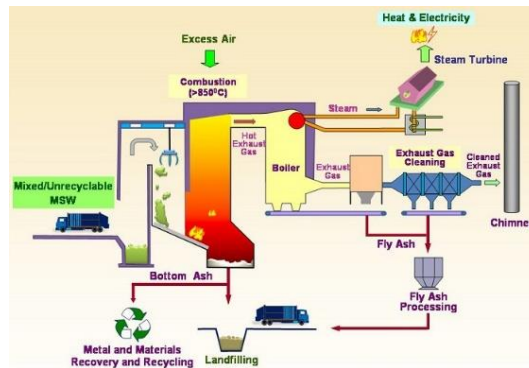
Kualitas uap menyatakan fraksi massa uap kering terhadap total campuran uap dan air. Uap dengan kualitas tinggi (mendekati uap jenuh kering atau uap panas lanjut) sangat dibutuhkan dalam sistem PLTU karena dapat meningkatkan efisiensi turbin dan mengurangi kerusakan akibat tetesan air pada sudu turbin. Pada sistem WtE, kualitas uap dipengaruhi oleh kestabilan pembakaran, distribusi panas di dalam boiler, serta sistem pengendalian temperatur dan tekanan. Boiler yang dirancang dan dioperasikan dengan baik mampu menghasilkan uap berkualitas tinggi sehingga kinerja turbin dan umur peralatan dapat terjaga.

Selain potensi energi yang dihasilkan, penerapan teknologi Waste to Energy (WtE) berbasis insinerasi juga memiliki implikasi terhadap emisi dan dampak lingkungan. Proses pembakaran sampah menghasilkan gas buang seperti karbon dioksida (CO_2) dan sulfur dioksida (SO_2) yang berpotensi berkontribusi terhadap pencemaran udara. Namun demikian, emisi tersebut dapat dikendalikan melalui penerapan sistem pengendalian emisi seperti scrubber dan filter partikulat. Selain gas buang, proses insinerasi juga menghasilkan residu padat berupa fly ash dan bottom ash. Fly ash yang terbawa bersama gas buang perlu ditangkap menggunakan bag filter atau electrostatic precipitator untuk mencegah penyebaran partikel berbahaya ke lingkungan, sedangkan bottom ash yang tertinggal di dasar incinerator dapat dikelola lebih lanjut dengan penimbunan terkendali atau pemanfaatan tertentu apabila memenuhi standar lingkungan. Dengan pengelolaan emisi dan residu yang tepat, sistem PLTU sampah dapat menjadi solusi pengurangan sampah yang relatif ramah lingkungan dibandingkan metode penimbunan konvensional.

A. Proses Pembakaran (Combustion)

Proses pembakaran pada sampah berlangsung melalui beberapa tahapan yang saling berurutan. Pada awalnya sampah yang dimasukkan ke ruang bakar akan mengalami proses pengeringan dikarenakan adanya panas dari tungku, biasanya mencapai $800\text{--}1000^\circ\text{C}$ sehingga menghasilkan energi panas dalam jumlah besar yang dapat menguapkan kandungan airnya.

Setelah cukup kering sampah akan mulai mengalami pemanasan tanpa oksigen atau pirolisis, yakni tahap dimana bahan anorganik terurai menjadi gas-gas yang mudah terbakar. Disaat adanya oksigen dan suhu meningkat, gas-gas yang ada akan terbakar dengan cepat pada suhu yang tinggi, ini akan menghasilkan panas, uap air, dan karbon dioksida. Selanjutnya, sisah arang yang masih mengandung karbon akan terbakar secara perlahan dan hanya akan menyisakan abu. Gas yang keluar hasil pembakaran akan disaring melalui berbagai sistem seperti filter partikel dan scrubber agar tidak mencemari udara dan lingkungan, sementara panas yang dihasilkan bisa digunakan untuk menghasilkan energi. Pada proses akhir abu yang tersisa dari pembakaran akan di kumpulkan dan dibuang atau kadang digunakan lagi jika aman.

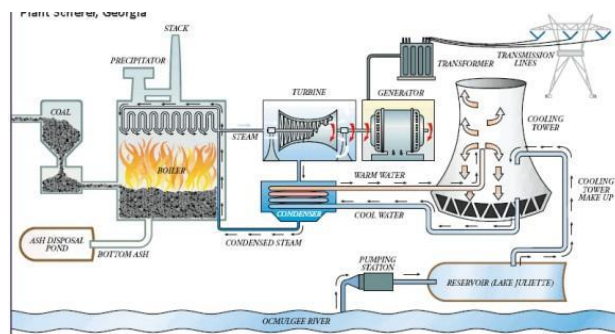


Gambar.4 Proses Pembakaran (Combustion)

B. Proses Pembentukan Uap (Steam Generation)

Proses pembentukan uap dari sampah (steam generation) merupakan bagian dari sistem Waste to Energy yang mengubah energi panas hasil insinerasi menjadi suatu energi uap yang bertekanan. Sampah yang dibakar di ruang incinerator akan mengalami suatu reaksi oksidasi pada suhu yang tinggi sehingga akan menghasilkan energi panas dalam jumlah besar, panas inilah yang kemudian di transfer ke sistem boiler dan akan melalui mekanisme perpindahan panas radiasi, konveksi, dan konduksi. Air yang terdapat di dalam pipa-pipa boiler akan menyerap panas sehingga temperature yang ada akan meningkat hingga mencapai titik didihnya yakni 100°C .

Ketika energi panas diterima cukup untuk memutus ikatan antara molekul air, akan terjadi perubahan fase dari air menjadi uap, uap yang terbentuk ini lah yang akan menjadi tekanan dan temperatur tinggi hingga dapat digunakan sebagai fluida kerja yang akan digunakan untuk menggerakkan turbin uap atau pun digunakan sebagai sumber energi panas dengan demikian lah, insinerasi sampah tidak hanya digunakan untuk mengurangi volume sampah yang ada, tetapi juga berperan sebagai proses konversi energi termal menjadi uap yang bertekanan.



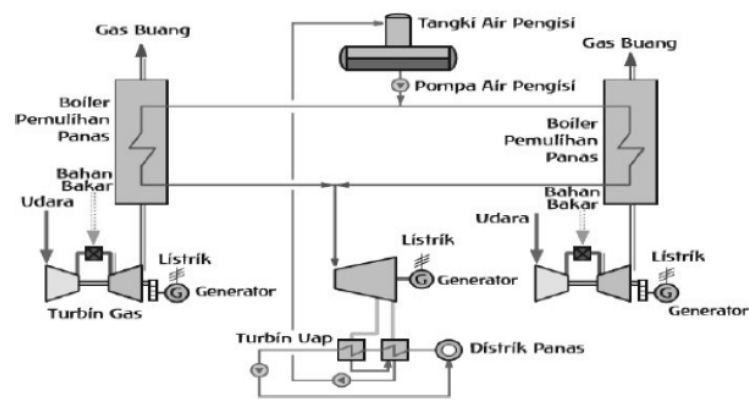
Gambar.5 Proses Pembentukan Uap (Steam Generation)

C. Proses Pembangkitan Listrik (Power Generation)

Setelah melalui proses pembakaran (combustion) dan proses pembentukan uap (steam generation), selanjutnya adanya proses pembangkitan listrik. Uap yang bertekanan tinggi yang terbentuk di boiler akan dialirkan ke turbin uap yang melalui pipa bertekanan tinggi di saat uap akan masuk ke ruang turbin, energi termal dan tekanan uap akan diubah menjadi energi mekanik melalui putaran sudut sudut turbin. Putaran ini yang akan diteruskan ke poros generator yang terhubung langsung dengan turbin. Di dalam generator ini,

puritan porosnya akan menyebabkan kumparan yang memotong medan magnet sehingga akan menimbulkan suatu perubahan fluks magnetic.

Perubahan inilah yang akan menghasilkan gaya Gerak Listrik sesuai prinsip induksi elektromagnetik Faraday. Gaya Gerak Listrik tersebut akan menjadi arus Listrik yang bisa disalurkan melalui jaringan distribusi. Selanjutnya, setelah melewati turbin, uap di kondensasikan Kembali menjadi air di kondensor dan dipompa Kembali ke boiler agar bisa dapat mengulangi siklus. Dengan demikian lah, Listrik akan terbentuk melalui konversi berurutan dari energi panas → uap → energi mekanik → energi listrik dalam satu sistem yang terintegrasi.



Gambar.6 Proses pembakaran sampah sampai menjadi energy Listrik

3. Results and Discussion

Dari penelitian diperoleh hasil jumlah rata-rata sampah yang didapatkan pada kota Jombang perhari pada tahun 2021-2024, sebagai table berikut :

Table 3.1. Jumlah sampah masuk pembuangan sampah Provinsi Bengkulu

| Tahun | P | Provinsi | Kabupaten/Kota | Nama Fasilitas | Jenis | Status | Sampah masuk (ton/thn) | Sampah masuk Landfill (ton/thn) |
|-------|---|----------|----------------------|--|--------------------------|--------|------------------------|---------------------------------|
| 2024 | 2 | Bengkulu | Kab. Bengkulu Utara | TPA Rama Agung | TPA Pemda (Non Regional) | A | 14,815.35 | 8,588.45 |
| 2024 | 2 | Bengkulu | Kab. Seluma | TPS Bungamas | TPA Pemda (Non Regional) | A | 432.89 | 432.89 |
| 2024 | 2 | Bengkulu | Kab. Seluma | TPA Talang Sali | TPA Pemda (Non Regional) | A | 159.87 | 159.87 |
| 2024 | 2 | Bengkulu | Kab. Lebong | TPA | TPA Pemda (Non Regional) | A | 4,380.00 | 4,380.00 |
| 2023 | 2 | Bengkulu | Kab. Rejang Lebong | TPA Jambu Keling | TPA Pemda (Non Regional) | A | 29,455.50 | 29,254.75 |
| 2023 | 2 | Bengkulu | Kab. Bengkulu Utara | TPA Rama Agung | TPA Pemda (Non Regional) | A | 9,563.00 | 2,646.25 |
| 2023 | 2 | Bengkulu | Kab. Seluma | TPS Bungamas | TPA Pemda (Non Regional) | A | 365.00 | 365.00 |
| 2023 | 2 | Bengkulu | Kab. Seluma | TPA Talang Sali | TPA Pemda (Non Regional) | A | 2,131.60 | 2,131.60 |
| 2023 | 2 | Bengkulu | Kab. Lebong | TPA | TPA Pemda (Non Regional) | A | 14,235.00 | 14,235.00 |
| 2023 | 2 | Bengkulu | Kab. Bengkulu Tengah | Tempat Pembuangan Sampah (TPS) Pulau Panggang (Sewa) | TPA Pemda (Non Regional) | A | 5,058.90 | 5,058.90 |

| | | | | | | | | | |
|---|------|---|----------|---------------------|-----------------|--------------------------|---|-----------|-----------|
| + | 2023 | 2 | Bengkulu | Kota Bengkulu | TPA Air Sebakul | TPA Pemda (Non Regional) | A | 83,170.73 | 67,731.22 |
| + | 2022 | 2 | Bengkulu | Kab. Bengkulu Utara | TPA Rama Agung | TPA Pemda (Non Regional) | A | 15,147.50 | 2,825.50 |
| + | 2022 | 2 | Bengkulu | Kab. Seluma | TPS Bungamas | TPA Pemda (Non Regional) | A | 1,551.25 | 1,551.25 |
| + | 2022 | 2 | Bengkulu | Kab. Lebong | TPA | TPA Pemda (Non Regional) | A | 6,570.00 | 6,570.00 |
| + | 2021 | 2 | Bengkulu | Kab. Bengkulu Utara | TPA Rama Agung | TPA Pemda (Non Regional) | A | 15,038.00 | 14,344.50 |
| + | 2021 | 2 | Bengkulu | Kab. Seluma | TPS Bungamas | TPA Pemda (Non Regional) | A | 1,551.25 | 1,551.25 |

Dari data diatas jumlah keseluruhan sampah di Provinsi Bengkulu 203.625,84 ton per tahun ton/Tahun dan 558,4 ton/hari. Terdapat perbedaan pada tiap lokasi.

Data jumlah sampah dikabupaten Bengkulu utara dan sekitarnya yang masuk dalam TPA rama agung setiap hari.

Table 3.2. Jumlah sampah masuk pembuangan sampah Provinsi Bengkulu Utara

| | Tahun | P | Provinsi | Kabupaten/Kota | Nama Fasilitas | Jenis | Status | Sampah masuk (ton/thn) | Sampah masuk Landfill (ton/thn) |
|---|-------|---|----------|---------------------|----------------|--------------------------|--------|------------------------|---------------------------------|
| + | 2024 | 2 | Bengkulu | Kab. Bengkulu Utara | TPA Rama Agung | TPA Pemda (Non Regional) | A | 14,815.35 | 8,588.45 |
| + | 2023 | 2 | Bengkulu | Kab. Bengkulu Utara | TPA Rama Agung | TPA Pemda (Non Regional) | A | 9,563.00 | 2,646.25 |
| + | 2022 | 2 | Bengkulu | Kab. Bengkulu Utara | TPA Rama Agung | TPA Pemda (Non Regional) | A | 15,147.50 | 2,825.50 |
| + | 2021 | 2 | Bengkulu | Kab. Bengkulu Utara | TPA Rama Agung | TPA Pemda (Non Regional) | A | 15,038.00 | 14,344.50 |

Dari tabel diatas merupakan data sampah dari kabupaaten Bengkulu utara dan sekitarnya mencapai 149,49 ton/hari beberapa lokasi yang tidak diketahui jumlah penduduk dan jumlah sampahnya. Hasil rata-rata sampah yang dihasilkan di provinsi Bengkulu dan kabupaten Bengkulu utara perhari dalam satuan ton Adalah 707,89 ton/hari. Penelitian yang telah dilakukan adalah mengamati berapa banyak jumlah sampah yang dihasilkan di provisi Bengkulu , dari hasil sampah tersebut, bila dijadikan tenaga listrik membutuhkan berapa ton sampah untuk dijadikan tenaga listrik dalam satuan mega. Rata- rata sampah yang dihasilkan dari Provinsi Bengkulu dan bengkulu utara adalah 707,89 ton/hari. dimana 1 ton = 1000 kg, bila 707.890 kg/hari. Setelah menghitung total sampah yang masuk dalam TPA rama agung selanjutnya menghitung proses pembakaran diruang bakar dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

1.) Perhitungan potensi energi dari sampah

$$\begin{aligned}
 E_{potensi} &= M \times LHV \\
 &= 203.625,84 \times 11,64 \\
 &= 2.370.204,77
 \end{aligned}$$

2.) Perhitungan potensi listrik dari sampah

$$\text{Rumus : } E_{listrik} = E_{potensi} \times \mu$$

$$E_{listrik} = 2.370.204,77 \times 0,20 = 474.040,95$$

$$1 \text{ kwh} = 3,6 \mu J$$

$$\text{Rumus : } E_{listrik} = \frac{m \times LHV \times \mu}{3,6}$$

$$E_{listrik} = \frac{474.040,95}{3,6} = 131,677,0 \frac{kwh}{tahun}$$

Jadi potensi listrik pertahun yang dihasilkan dari sampah rata-rata 131,7 MWH/ tahun

3.) Menghitung daya (mw) sampah harian

1. Koevisien ton-kg

$$557,88 \text{ ton/day} = 557,880 \text{ kg/day}$$

2. Penimbunan energy listrik harian

$$\begin{aligned} E_{panas} &= M \times LHV \\ &= 557.880 \times 11,64 \\ &= 6.494.203,2 \text{ MJ/hari} \end{aligned}$$

3. Hitungan energi listrik harian

$$\begin{aligned} E_{listrik} &= E_{panas} \times \mu \\ &= 6.494.203,2 \times 0,20 \text{ MJ/hari} \end{aligned}$$

4. Konversi MJ/KWh

$$1 \text{ KWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$\begin{aligned} E_{listrik} \left(\frac{kwh}{day} \right) &= \frac{1.298.840,64}{3,6} \\ &= 360.789 \text{ kwh/hari} \end{aligned}$$

5. Hitungan daya (mw)

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \frac{E_{energi}}{\text{persatuan waktu}} \\ \text{Mw} &= \frac{kwh/day}{24} \\ \text{Mw} &= \frac{360.789}{24} \\ &= 15,03 \text{ mw} \end{aligned}$$

4.) Menghitung efesiensi pengelolaan smpah Kota Bengkulu

1. Rasio ke Landfill

$$\begin{aligned} \text{Radio ke landfill} &= \frac{\text{Sampah masuk landfill}}{\text{total sampah masuk}} \times 100\% \\ &= \frac{28.404,70}{54.563,85} \times 100\% \\ &= 52,06\% \end{aligned}$$

2. Sampah terkelola

$$\begin{aligned} \text{Sampah terkelola} &= \text{total sampah} - \text{sampah landfill} \\ &= 54.563,85 - 28.404,70 = 26.159,15 \text{ ton} \end{aligned}$$

3. Rasio sampah terkelola

$$\begin{aligned} \text{Radio terkelola} &= \frac{\text{sampah terkelola}}{\text{total sampah}} \times 100\% \\ &= \frac{26.159,15}{54.563,85} \times 100\% \\ &= 47,94 \% \end{aligned}$$

4. Conclusion

Pengelolaan sampah di Provinsi Bengkulu masih menjadi permasalahan serius akibat meningkatnya jumlah penduduk, aktivitas ekonomi, dan kurang optimalnya pengelolaan di TPA. Sampah anorganik seperti plastik, kertas, dan tekstil mendominasi komposisi sampah dan sulit terurai sehingga menimbulkan pencemaran lingkungan. Namun, sampah anorganik memiliki nilai kalor tinggi yang berpotensi

dimanfaatkan sebagai sumber energi melalui teknologi *Waste to Energy* (WtE). Teknologi WtE berbasis Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) bekerja dengan memanfaatkan panas dari pembakaran sampah di dalam incinerator untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Uap ini digunakan untuk memutar turbin dan menghasilkan listrik melalui generator. Berdasarkan data yang dikumpulkan, jumlah rata-rata sampah di Provinsi Bengkulu mencapai 558,4 ton/hari, sedangkan sampah yang masuk ke TPA Rama Agung di Bengkulu Utara sekitar 149,49 ton/hari. Jika digabungkan, total rata-rata sampah harian adalah 707,89 ton/hari atau 707.890 kg/hari.

Dengan memanfaatkan nilai kalor sampah dan efisiensi konversi energi, potensi listrik yang dapat dihasilkan dari sampah Bengkulu diperkirakan mencapai 131,7 MWh per tahun. Selain itu, perhitungan energi harian menunjukkan bahwa sampah mampu menghasilkan daya hingga 15,03 MW jika dikonversi menjadi listrik. Tingkat pengelolaan sampah di Bengkulu juga ditemukan sebesar 47,94%, menunjukkan bahwa hampir separuh sampah belum tertangani secara optimal.

Secara keseluruhan, penerapan PLTU sampah di Bengkulu berpotensi besar untuk mengurangi volume sampah sekaligus menyediakan sumber energi listrik terbarukan bagi masyarakat. Teknologi ini tidak hanya menyelesaikan masalah lingkungan, tetapi juga mendukung ketersediaan energi yang berkelanjutan di wilayah Bengkulu.

5. Acknowledgments

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dalam proses penelitian ini. Terima kasih kepada pihak pengelola TPA Rama Agung dan Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Bengkulu atas data dan informasi yang diberikan. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada dosen pembimbing serta rekan-rekan yang turut membantu dalam penyelesaian penelitian dan penulisan artikel ini. Segala bantuan dan kontribusi tersebut sangat berarti dalam terselesaikannya penelitian ini.

References

- [1] Marliani, N. (2014). *Pemanfaatan limbah rumah tangga*. Bandung: Alfabeta.
- [2] Maryuni. (2021). *Teknologi konversi sampah menjadi energi*. Politeknik Negeri Sriwijaya.
- [3] Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). (2024). *Data komposisi dan jumlah sampah Provinsi Bengkulu*. Diakses dari <https://sipsn.menlhk.go.id>
- [4] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). *Statistik persampahan nasional*. Jakarta: KLHK.