

PEMANFAATAN SAMPAH UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SAMPAH DI TPA GEBANGKERET JOMBANG

Asnun Parwanti¹, Faldy Arwan Satriaji², Agus Raikhani³, Ruklin⁴, Machrus Ali^{5*1}

^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Darul Ulum,

Jl. Gus Dur No.29A, Mojongapitindah, Mojongapit, Kec. Jombang, Kabupaten Jombang, Jawa Timur 61419

asnunparwanti@gmail.com, faldyarwans@gmail.com, agus.raikhani@gmail.com, ruklin05@gmail.com, machrus7@gmail.com

ABSTRACT

Energi fosil di Indonesia semakin sedikit dan akan habis. Diperlukan energi pengganti yang ramah lingkungan. Permasalahan lingkungan di perkotaan adalah sampah, semakin banyak sampah plastik, kertas, dan sampah organik. Selain membuat polusi dengan bau yang tidak sedap sampah juga mengganggu pemandangan yang kurang enak. Pemandangan yang berkesan kumuh harus segera ditangani dengan memanfaatkannya menjadi sesuatu yang bermanfaat. Beberapa penelitian dan aplikasi di lapangan telah memanfaatkan sampah di daur ulang menjadi breket atau bahan kerajinan. Beberapa penelitian juga memanfaatkan sampah menjadi energi listrik dan sudah dilaksanakan. Di kabupaten Jombang jumlah pembuangan sampah mencapai 110 ton tiap hari dan selalu meningkat, diantaranya di pembuangan sampah di Gebangkeret Jombang. Sampah ini sangat berpotensi untuk dipergunakan sebagai pembangkit listrik tenaga sampah, namun perlu diperhitungkan kelayakannya. Metode menggunakan metode kuantitatif dengan menghitung jumlah energi sampah yang akan dihasilkan menjadi energi tenaga listrik. Suplay energi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) sangat dipengaruhi oleh jenis dan banyak sampah yang digunakan. Pengelolaan bahan bakar memerlukan proses insenerasi, gasifikasi, dan pirolisis. Dari hasil penelitian menggunakan proses incenerasi didapatkan hasil 364.622,46 Kj/Kg menghasilkan daya generator sebesar 19,563 Kw. Ini menunjukkan bahwa energi dari hasil sampah di Jombang bisa digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah sebesar 20 kWatt.

Kata Kunci: Energi Baru Terbarukan, Waste Energy, Renewable Energy, PLTSA, Incineration Process

ABSTRACT

Fossil energy in Indonesia is getting smaller and will run out. An environmentally friendly substitute energy is needed. Environmental problems in urban areas are waste, increasing plastic waste, paper, and organic waste. In addition to causing pollution with an unpleasant odor, waste also disturbs the unpleasant view. The view that seems dirty must be handled immediately by utilizing it in something useful. Several studies and applications in the field have utilized waste recycled into brackets or craft materials. Several studies have also used waste in electrical energy and have been implemented. In Jombang district, the amount of waste disposal reaches 110 tons per day and is always increasing, including in the waste disposal in Gebangkeret Jombang. This waste has great potential to be used as a waste-powered electricity generator, but its feasibility needs to be considered. The method uses a quantitative method by calculating the amount of waste energy that will be produced into electrical energy. The energy supply of the Waste-Powered Power Plant (PLTSA) is greatly influenced by the type and amount of waste used. Fuel management requires incineration, gasification, and pyrolysis processes. From the research results using the incineration process, the results obtained were 364,622.46 Kj/kg, producing a generator power of 19.563 kW. This shows that the energy from the waste in Jombang can be used for a waste power plant of 20 kWatt.

Keywords: EBT, Waste Energy, Renewable Energy, PLTSA, Incineration Process

1. PENDAHULUAN

Sampah menjadi permasalahan yang serius di perkotaan, selain polusi juga bisa mengakibatkan banjir akibat pengelolaan pembuatan sampah yang kurang baik[1].

Jon Marjuni Kadang (2021) telah meneliti pengembangan efektifitas pengolahan sampah di TPA Benowo kota Surabaya, memanfaatkan pembuangan sampah 1000 ton tiap hari menjadi energi listrik sebesar 12 MWatt. Musyafiq A (2020) mengkaji kelayakan PLTSa di pembuangan sampah Piyungan Yogyakarta dengan metode Grid Analysis menggunakan metode incinerator.

Untuk itu disamping kita menghemat penggunaan energi dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui, kita juga harus mencari sumber alternatif energi baru untuk memenuhi kebutuhan energi yang tidak dapat dibendung lagi. Energi Baru Terbarukan (EBT) menjadi alternative untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik. Telah diteliti dan dikembangkan pembangkit listrik baru terbarukan, diantaranya; pembangkit listrik tenaga matahari atau surya dengan optimasi dual axis tracking dan penggunaan kecerdasan buatan[2],[3]. Penelitian tentang pembangkit tenaga air mikrohydro (PLTMh) dan picohydro dengan optimasi kecerdasan buatan dengan stabilitas frekuensi dan tegangan system[4],[5]. Penelitian tentang pembangkit listrik tenaga air atau bayu (PLTB)[6],[7] dengan optimasi dan efisiensi menggunakan kecerdasan buatan[8]. Maka diperlukan penelitian tentang potensi pemanfaatan sampah menjadi energi listrik khususnya di Kota jombang

2. METODE PENELITIAN

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

1.1. Pengelolaan Sampah

Pada dasarnya, pengelolaan sampah terdiri dari lima komponen: mencegah pencemaran, mengurangi jumlah sampah, mendaur ulang, mengolah sampah yang tidak dapat didaur ulang, dan membuang. Prinsip pertama hingga ketiga memiliki hubungan yang kuat dengan kultur masyarakat, dan prinsip keempat dan kelima memiliki hubungan dengan teknologi.

Meskipun pemerintah membuat perundang-undangan untuk menangani sampah, sistem pengolahan sampah di Indonesia dianggap buruk, dan masyarakat perlu memantau dan mengawasinya. Permasalahan sampah tidak bisa hanya ditangani dengan peraturan dan sanksi pemerintah. Kontribusi penanganan sampah tidak hanya pada peraturan pemerintah

atau undang-undang tapi peran masyarakat itu sendiri yang harus berperan aktif dalam menanggulangnya[10],[11].

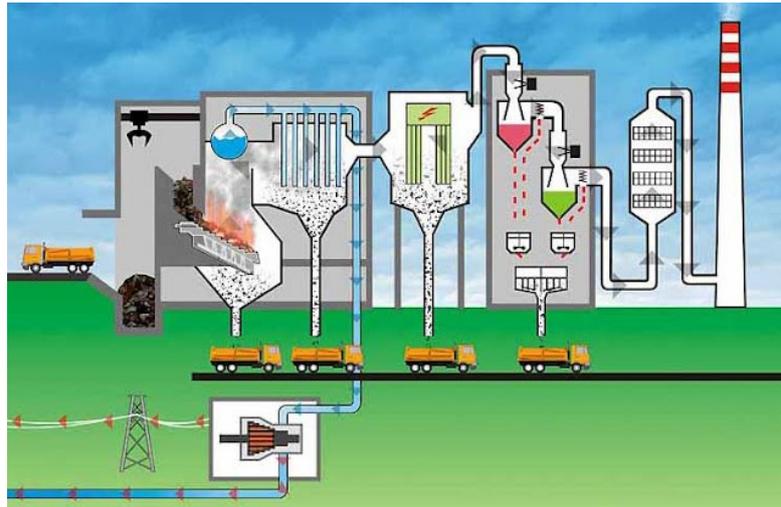
1.2. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Pembangkit listrik tenaga sampah menghasilkan listrik dengan mengkonversi energi pembakaran sampah. Nanti sampah ini akan digunakan untuk memanaskan air yang menghasilkan uap yang selanjutnya diolah melalui boiler. Boiler ini menghasilkan uap panas yang dimasukkan ke turbin uap untuk menghasilkan tekanan tinggi. Generator yang dikopel dengan turbin uap melalui poros akan ikut berputar. Hasil putaran menghasilkan gaya gerak listrik yang selanjutnya menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja proses konversi termal hampir sama dengan prinsip kerja pembangkit tenaga uap lainnya, perbedaan hanya pada jenis bahan bakar. Karena perbedaan bahan bakar, pembangkit ini juga memiliki bagian tambahan, yaitu tempat pengolahan bahan bakar sebelum melakukan proses gasifikasi, pirolisis, dan insenerasi[12].

A. Proses insenerasi

Insinerator digunakan untuk melakukan insinerasi. Ini melibatkan pembakaran oksidatif pada suhu 850–1400 derajat Celcius. Bahaya dan volume sampah yang dihasilkan dapat dikurangi melalui proses insinerasi.

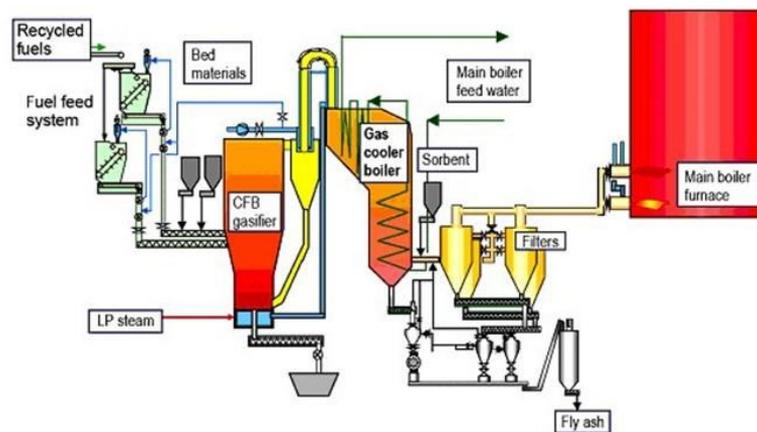
Pengiriman limbah, penyimpanan, pre-treatment, pemulihan insinerator, pengendalian emisi gas buang dan manajemen residu padat, dan pengolahan air limbah adalah beberapa proses yang biasanya terjadi di dalam insinerator. Proses ini mengubah sampah menjadi panas, yang digunakan untuk memanaskan air dalam boiler. Uap dapat didistribusikan untuk dijual (biasanya untuk manufaktur industri atau kimia) atau dikonversi menjadi listrik melalui turbin uap, yang memiliki efisiensi antara 18 dan 27 persen untuk pembangkit listrik yang menghasilkan antara 25.000 dan 600.000 ton per tahun. Sistem pengolahan gas buang ini sangat mahal dan membutuhkan perawatan dan operasional yang hati-hati.



Gambar 1. Sistem pengolahan gas buang

B. Proses Gasifikasi

Gasifikasi merupakan proses bahan bakar padat diubah secara termokimia menjadi gas dengan menggunakan lebih sedikit udara untuk prosesnya.



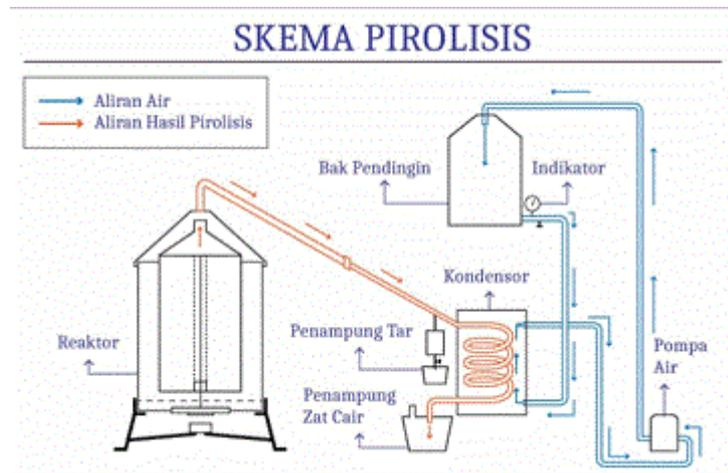
Gambar 2. Proses Gasifikasi

Setelah gasifikasi, proses oksidasi parsial dimulai. Selama proses gasifikasi, reaksi kimia utama adalah endotermis, yang berarti bahwa ada panas dari luar selama proses. Proses gasifikasi menggunakan suhu 900–1100 °C untuk kadar udara dan 1.000–1.400 °C untuk kadar oksigen. Proses konversi sampah ini relatif efisien, menghasilkan 80 persen energi kimia dari sampah, yang terdiri dari karbon dan hidrogen. Gas sintesis, juga dikenal sebagai syngas, dapat digunakan untuk berbagai tujuan, seperti memberikan energi untuk boiler uap atau mesin gas dan kemudian menghasilkan panas dan/atau energi.

C. Proses Pirolisis

Proses Pirolisis, juga dikenal sebagai proses thermolisis. Proses ini dekomposisi kimia yang dilakukan dengan pemanasan tanpa oksigen. Proses pirolisis ini menghasilkan produk seperti karbon, bahan bakar padat, cairan yang terdiri dari campuran tar, dan beberapa zat

lainnya. Jika teknologi pirolisis digunakan untuk mengolah sampah untuk menghasilkan bahan baku yang konsisten, seperti pemisahan bahan seperti kaca, logam, dan sisa-sisa, gasifikasi dari pengolahan sampah komersial di seluruh dunia masih terbatas. Suhu pembakaran 400–850 °C dan sumber panas luar diperlukan untuk proses pirolisis.

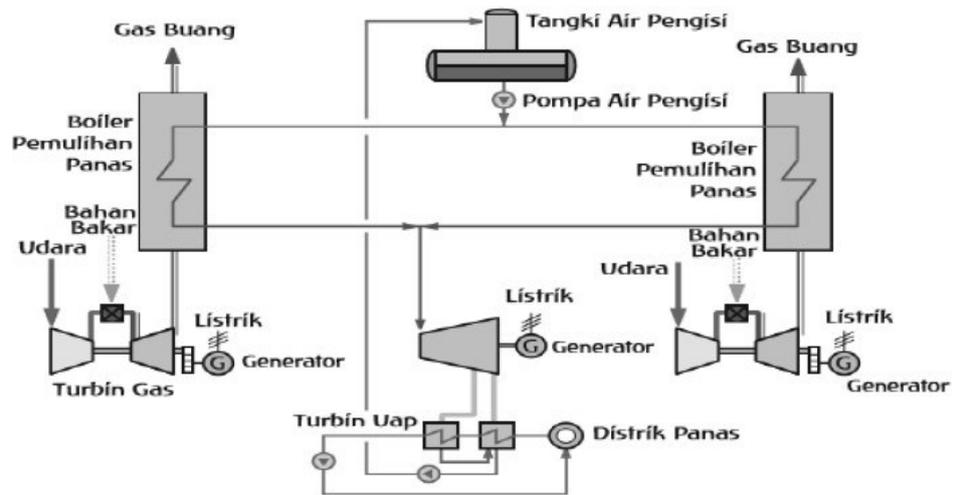


Gambar 3. Skema Pirolisis

Teknologi ini menghasilkan syngas, minyak pirolisis untuk bahan bakar, residu padat atau arang, dan residu abu/logam.

1.3. Teknologi yang digunakan diPLTSa

Pembakaran sampah yang dilakukan diPLTSa telah tersedia secara komersial yang bisa diaplikasikan diberbagai macam skala dari beberapa MW sampai 100 MW atau lebih. Dan merupakan bentuk yang paling umum di setiap PLTSa Di seluruh dunia,kebanyakan jenis PLTSa yang digunakan berjalan melalui pembakaran didalam sebuah boiler untuk menghasilkan sebuah uap,uap tersebut akan dikirimkan keturbin yang akan digunakan untuk memutar sudu-sudu turbin yang bercople dengan generator,yang mana generator bila diputar dengan kecepatan konstan,maka generator akan menghasilkan sebuah energy listrik,yang mana energy tersebut akan didistribusikan kemasyarakat-masyarakat.



Gambar 4. Proses pembakaran sampah sampai menjadi energy listrik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

Tabel 3. Jumlah sampah masuk pembuangan sampah bandar gebang setiap hari.

Lokasi	Jumlah pengambilan	Alat angkut	Jumlah penduduk	Jumlah dalam KG	Jumlah dalam Ton
Banjardowo	1	Arm Roll	9.107	3.643	3,64
Geneng	1	Arm Roll	7.073	2.829	2,83
Jabon	1	Arm Roll	4.706	1.882	1,88
Jelakombo	3	Arm Roll	4.334	1.734	1,73
Kalimalang	2	Arm Roll	9.178	3.671	3,67
Kaliwungu	1	Arm Roll	3.376	1.350	1,35
Kepanjen	2	Kompaktor	7.868	3.147	3,15
Tambakberas	1	Arm Roll	-	-	0,00
Sambong	2	Arm Roll	9.302	3.721	3,72
Sengon	1	Kompaktor	8.874	3.550	3,55
Tambak rejo	1	Arm Roll	7.243	2.897	2,90
Candi	3	Arm Roll	10.096	4.038	4,04
Kejambon	1	Arm Roll	5.512	2.205	2,20
Dayu lap	1	Arm Roll	6.763	2.705	2,71
Denayar	2	Arm Roll	9.641	3.856	3,86
Griya indah	3	Arm Roll	10.234	4.094	4,09
Depo candi	3	Arm Roll	-	-	0,00
Parimono	3	Arm Roll	7.542	3.017	3,02
Tunggorono	1	Arm Roll	-	-	0,00
Pondok Denayar	2	Arm Roll	-	-	0,00

Dari data diatas jumlah keseluruhan sampah kota jombang 48,34 ton/hari merupakan hasil pendapatan sampah dalam satu hari di kota jombang. Terdapat perbedaan pada tiap

lokasi. Data jumlah sampah dikecamatan mojoagung dan sekitarnya yang masuk dalam TPA bandar gebang setiap hari.

Tabel .3.2 Jumlah sampah yang masuk dalam TPA Mojoagung setiap hari.

Lokasi	Jumlah pengambilan	Alat angkut	Jumlah penduduk	Jumlah dalam KG	Jumlah dalam Ton
Betek	1	Arm Roll	5.158	2.063	2,06
Gambiran desa	1	Arm Roll	-	-	
Janti	1	Arm Roll	5.512	2.205	2,20
Miagan	1	Arm Roll	-	-	
Mojotrisno	4	Arm Roll	4.300	1.720	1,72
Pst. Gambiran	2	Arm Roll	-	-	

Dari tabel diatas merupakan data sampah dari kecamatan Mojoagung dan sekitarnya mencapai 5,98 ton/hari. Ada beberapa lokasi yang tidak diketahui jumlah penduduk dan jumlah sampahnya. Hasil rata-rata sampah yang dihasilkan di Kota Jombang dan Kecamatan Mojoagung perhari dalam satuan ton adalah 54,32 ton/hari.

Penelitian yang telah dilakukan adalah mengamati berapa banyak jumlah sampah yang dihasilkan di Jombang, 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 kota Jombang, dan Mojoagung adalah 54,32 ton/hari dimana 1 ton = 1000 kg, bila 54,32 ton/hari 54320 kg/hari, bila dirata-rata sampah yang masuk di TPA bandar gebang adalah 2263,3 kg/jam. Dimana (1 KJ/Jam = 0,239 kkal/kg). Total nilai kalor sampah organik sebesar 674,6 Kkal/kg.

Setelah menghitung total sampah yang masuk dalam TPA bandar gebang selanjutnya menghitung proses pembakaran diruang bakar dengan menggunakan rumus sebagai berikut ;

A. Pembakaran Dengan Proses Incenerator.

$$Q_f = M \text{ Sampah} \times C_v \text{ Sampah} \quad (1)$$

$$M \text{ Sampah} = 2263,3 \text{ Kg/Jam}, C_v \text{ Sampah} = 674,6 \text{ kkal/kg} = 161,1 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_f = 2263,3 \times 161,1 = 364.622,5 \text{ KJ/Jam}$$

Total proses pembakaran diruang bakar dengan menggunakan proses incenerator adalah 364.622,5 KJ/jam selanjutnya menghitung proses laju panas.

B. Perhitungan Laju Panas Yang Keluar Dari Proses Incenerator

Laju panas proses incenerator;

$$\eta = \frac{Q}{Q_f} \quad (2)$$

$$\eta : 80 \% = 0,8, Q_f: 364.622,5 \text{ kJ/Jam},$$

$$Q = \eta \times Q_f = 0,8 \times 364.622,5 \text{ kJ/Jam} = 291.698 \text{ kJ/jam}$$

Dari hasil diatas laju panas yang keluar dari proses incinerator adalah 291.698 KJ/Jam. Setelah menghitung proses laju pans yang keluar dari proses incenerator selanjutnya menghitung laju massa uap.

C. Perhitungan Laju Aliran Massa Uap

Laju aliran dari boiler sebagai berikut ;

$$M = \frac{Q}{h_2 - h_1} \quad (3)$$

M = Laju aliran ketel (kg/ jam), Q = Laju panas dari incenerator (kJ/ jam), h1 = Etalphy ketel (kJ/ jam), h2 = Entalphy uap keluar ketel (kJ/jam), Temperatur = 30°C, Tekanan ketel = 14 Mpa

$$h_1 = 125,8 \text{ kJ/kg}, h_2 = 2637,6 \text{ KJ/Kg}, Q = 291.697,9 \text{ kJ/jam}$$

$$M = \frac{Q}{h_2 - h_1} = \frac{291.697,9}{2637,6 - 127,5} = \frac{291.697,9}{2511,9} = 116,13 \text{ kg/jam}$$

Dari hasil penghitungn diatas menggunakan rumus tersebut laju aliran massa uap adalah 116,13 kg/jam.

D. Perhitungan Kinerja Turbin Uap Pada Tingkat Keadaan I

Pada rumus tekanan boiler dan system tingkat keadaan 2 terbuka akan diasumsikan; Tekanan masuk = 14 Mpa, boiler, S1 = 5,37 kJ/ kg, h2 = h3 = 2638 kJ/kg, Pada keadaan 2 tekanan keluar = 1 atm, Temperatur keluar = 100°C. Sf2 = 1,307 kJ/(kg.k), Sfg2 = 6,05 kJ/(kg.k)

Akibat proses secara isentropik diperoleh

S2s = S1 kondisi ini dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$X_{2S} = \frac{S_{2s} - S_{f2}}{S_{fg2}} \quad (4)$$

X2s = Kualitas uap keluar turbin proses isentropik, S2s = Entropi keluar pada proses isentropic (kJ/kg.k), Sf2 = Entropi air jenuh proses isentroik (kJ/kg.k), Sfg2 = Entropi penguapan pada proses isentropik (kJ/kg.k), S2s= S1 = 5,3726 kJ/kg, Sf2= 1,3071 kJ/(kg.k), Sfg2= 6,0486 kJ/(kg.k)

$$X_{2S} = \frac{S_{2s} - S_{f2}}{S_{fg2}} = \frac{5,3726 - 1,3071}{6,0486} = \frac{4,0655}{6,0486} = 0,672$$

hs2 = hf2 + x2s x hfg2, hs2 = entalpi keluar turbin proses isentropic (KJ/kg), hf2= entalpi cair jenuh keluar turbin proses isentropic (Kj/kg), x2s = kualitas uap keluar turbin proses isentropic, hfg2 = entalpi penguapan keluar turbin proses isentropic (Kj/kg). Temperature keluar = 100°C, hf2 = 419,0 Kj/kg, hfg2 = 2257,0 Kj/kg, hs2 = hf2 + x2s x hfg2 = 419,0 + 0,672 x 2257,0 = 1935,7 Kj/kg, Pada langkah

selanjutnya ialah menghitung kerja turbin isentropik dan kerja turbin adiabatik sebenarnya, dimana efisiensi turbin isentropik diasumsikan 96%.

$$\eta_s = \frac{w_t}{w_s} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{s2}} \text{ dan } W_s = h_3 - h_{s2}, W = W_s \times \eta_s$$

η_s = efisiensi turbin isentropik (%). W_t = keluaran kerja yang dapat diukur dari suatu turbin adiabatik yang sebenarnya (Kj/kg). W_s = keluaran kerja teoritis suatu turbin isentropik yang bekerja diantara tingkat keadaan awal dan tingkat keadaan akhir yang sama (Kj/kg). h_3 = entalpi uap spesifik masuk turbin (Kj/kg).

h_4 = entalpi uap spesifik keluar turbin (Kj/kg). h_{s2} = entalpi uap spesifik pada proses isentropik (Kj/kg). $\eta_s = 96\% = 0,96$, $h_2 = h_3 = 2637,6$ Kj/kg, $h_{s2} = 1935,7$ Kj/kg. $W_s = h_3 - h_{s2} = 2637,6 - 1935,7 = 701,9$ Kj/kg, $W_t = W_s \times \eta_s = 701,9 \times 0,96 = 673,82$ Kj/kg. Selanjutnya h_4 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kerja turbin adiabatik dengan persamaan $W = h_3 - h_4$. $h_4 = h_3 - W_t = 2637,6 - 673,82 = 1.963,78$ Kj/kg.

Dari hasil diatas proses demi proses sudah didapatkan hasil, dari proses menghitung kualitas uap keluar turbin, entalpi keluar turbin dan proses menghitung entalpi uap spesifik keluar turbin dari proses isentropik selanjutnya menghitung daya yang dihasilkan generator.

E. Perhitungan Daya Yang Dihasilkan Generator

Daya yang dihasilkan generator ialah sebagai berikut ;

$$N_{\text{efektif}} = W_t \times M. \quad (5)$$

N_{efektif} = Daya yang keluar dari turbin (KW) W_t = Keluaran kerja yang dapat diukur dari suatu turbin adiabatik yang sebenarnya (KJ/kg), M = Laju aliran masa uap keluar dari ketel (kg/jam), $N_{\text{efektif}} = W_t \times M = 673,82 \times 116,13 = 78.250,7$ KJ/jam (1KJ/jam = 0,278 Watt) = 21.736,3 Watt = 21,7363 KW

Langkah selanjutnya adalah menghitung daya yang telah dibangkitkan oleh generator seperti kita ketahui untuk efisiensi generator sendiri ialah 90 %.

$P_{\text{generator}} = N_{\text{efektif}} \times \eta_{\text{generator}} = \text{Daya yang dihasilkan generator (KW)}$,
 $N_{\text{efektif}} = \text{Daya yang keluar dari turbin (KW)}$, $\eta_{\text{generator}} = \text{Efisiensi generator (\%)}$,
 $\eta_{\text{generator}} = 90\% = 0,9$, $N_{\text{efektif}} = 21.736,3$ Watt,

$$P_{\text{generator}} = N_{\text{efektif}} \times \eta_{\text{generator}} = 21.736,3 \times 0,9 = 19.562,7 \text{ Watt} = 19,563 \text{ KW}$$

Dengan ini daya yang keluar dari generator sebesar 19,563 Kw setiap beroperasi. jika diasumsikan rata-rata penggunaan listrik setiap rumah berdaya 900 VA perbulan adalah 109 Kwh atau 3,6 Kwh setiap harinya. Apabila generator

beroperasi selama 24 jam maka ($19,563 \text{ Kw} \times 24 = 469,512 \text{ Kw}$ atau 469.512 watt) setiap beroperasi selama 24 jam. jika setiap rumah berdaya 900 Va dengan rata-rata perharinya 3,6 Kwh atau 3600 watt, maka ($469.512 \text{ watt} : 3600 \text{ watt} = 130,4$ atau sekitar 130 rumah dengan daya 900 VA dengan rata – rata penggunaan 3,6 Kwh perharinya).

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian sampah yang masuk dalam TPA Gebangkeret mencapai 54,32 ton setiap harinya, dengan menggunakan proses incenerasi didapatkan hasil 364.622,46 Kj/Kg. Pemanfaatan sampah dengan menggunakan teknologi incenerasi menghasilkan daya generator sebesar 19,563 Kw setiap kali beroperasi, sedangkan untuk mendapatkan energy listrik yang dihasilkan dari incenerasi perharinya adalah daya keluaran generator sebesar 469,512 Kw. Ini menunjukkan bahwa energi dari hasil sampah di jombang sangat bisa digunakan untuk PLTSa dengan daya 20 kW .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. N. Qodriyatun, “Pembangkit Listrik Tenaga Sampah: Antara Permasalahan Lingkungan dan Percepatan Pembangunan Energi Terbarukan,” *Aspir. J. Masal. Sos.*, vol. 12, no. 1, pp. 63–84, 2021, doi: [10.46807/aspirasi.v12i1.2093](#).
- [2] M. Ali et al., “The comparison of dual axis photovoltaic tracking system using artificial intelligence techniques,” *IAES Int. J. Artif. Intell.*, vol. 10, no. 4, p. 901, Dec. 2021, doi: [10.11591/ijai.v10.i4.pp901-909](#).
- [3] M. Ali, H. Suyono, M. A. Muslim, M. R. Djalal, Y. M. Safarudin, and A. A. Firdaus, “Determination of the parameters of the firefly method for PID parameters in solar panel applications,” *SINERGI*, vol. 26, no. 2, p. 265, Jun. 2022, doi: [10.22441/sinergi.2022.2.016](#).
- [4] F. Faisal, M. Ruswandi Djalal, and M. Ali, “Penerapan SMES untuk Load Frequency Control pada PLTMH Menggunakan Ant Colony Optimization,” *J. FORTECH*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, May 2024, doi: [10.56795/fortech.v5i1.5101](#).
- [5] Kadaryono, Rukslin, M. Ali, Askan, A. Parwanti, and I. Cahyono, “Comparison of LFC Optimization on Micro-hydro using PID, CES, and SMES based Firefly Algorithm,” in *2018 5th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, IEEE, Oct. 2018, pp. 204–209. doi:

10.1109/EECSI.2018.8752733.

- [6] Rukslin and M. Ali, “Desain Pitch Angle dengan Tuning Bat Algorithm (BA) pada Wind Turbine Menggunakan PID Controller,” *JEEE-U (Journal Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 1, pp. 40–51, Apr. 2022, doi: [10.21070/jeeeu.v6i1.1624](#).
- [7] M. Ali, A. N. Afandi, H. Nurohmah, R. Rukslin, M. A. Haikal, and M. R. Djalal, “Optimization of wind-turbine control using the hybrid ANFIS-PID method based on ant colony optimization,” in *INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED TECHNOLOGY AND MULTIDISCIPLINE (ICATAM) 2021, 2023*, p. 30002. doi: [10.1063/5.0118865](#).
- [8] I. Anshoruddin, M. Ali, R. Rukslin, and H. Nurohmah, “Desain Kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro Menggunakan PID-CES Berbasis Firefly Algorithm,” *J. FORTECH*, vol. 5, no. 2, pp. 89–94, Sep. 2024, doi: [10.56795/fortech.v5i2.5205](#).
- [9] G. Putri Damayanti, W. Waluyo, and R. Candrakirana, “Pengelolaan Sampah Melalui PLTSa Di Indonesia Untuk Mewujudkan Net Zero Emission,” *PLEDOI (Jurnal Huk. dan Keadilan)*, vol. 2, no. 1, pp. 79–92, 2023, doi: [10.56721/pledoi.v2i1.193](#).
- [10] S. I. Supratikno, L. Warlina, and S. Listyarini, “Model pengelolaan sampah terpadu di Kota Surakarta,” *Gema Wiralodra*, vol. 14, no. 1, pp. 118–129, 2023, doi: [10.31943/gw.v14i1.361](#).
- [11] Juliandi, “Model Pengelolaan Sampah Berbasis Sumber Dengan Sistem Reduce-Reuse-Recycle (3R) di TPS 3R Desa Baktiseraga,” *J. Pendidik. Geogr. Undiksha*, vol. 10, no. 3, pp. 301–307, 2023, doi: [10.23887/jjpg.v10i3.50529](#).
- [12] M. Z. Suradin and B. Burhanuddin, “FASILITAS PENGOLAHAN SAMPAH DENGAN PENERAPAN TEKNOLOGI INSENERASI DI MAMMINASATA,” *Nat. Natl. Acad. J. Archit.*, vol. 2, no. 2, pp. 149–157, 2015, doi: [10.24252/nature.v2i2a2](#).