

Pengaruh Variasi *Municiple Solid Waste (Refuse Derived Fuel, Briket Sampah Dan Sampah Campur)* Terhadap Profil Temperatur Insinerator *Dual Chamber*

Martua Belgrat Panggabean, I Nyoman Suprapta Winaya dan I Wayan Arya Darma
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Peningkatan jumlah sampah hingga saat ini masih merupakan permasalahan serius yang perlu diatasi karena erat kaitannya dengan isu lingkungan. Salah satu metode dalam pengolahan sampah yaitu dengan mengolah sampah menjadi bahan bakar melalui proses termal menggunakan metode insinerasi. Insinerasi merupakan metode pengolahan limbah padat melalui pembakaran tertutup dengan suhu tinggi sehingga menghasilkan abu dan gas hasil pembakaran. Proses insinerasi dilakukan dengan menggunakan alat bernama insinerator. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi bahan bakar berupa RDF, briket sampah, dan sampah campur terhadap profil temperatur insinerator tipe *Fixed Grate Dual Chamber*. Pengujian dilakukan dengan pendekatan secara eksperimental dengan memasukkan bahan bakar untuk dibakar pada ruang bakar untuk kemudian dibakar pada temperatur kontrol 900 °C serta suplai udara dari blower utama sebesar 10 m/s. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pembakaran RDF memiliki temperatur puncak pembakaran tertinggi pada chamber 1 dan chamber 2 masing – masing 1094,5 °C dan 1267,3 °C.

Kata Kunci : Insinerator Fixed Grate Dual Chamber, Profil Temperatur

Abstract

The increase in the amount of waste is still a serious problem that needs to be addressed because it is closely related to environmental issues. One method of processing waste is by processing waste into fuel through a thermal process using the incineration method. Incineration is a method of processing solid waste through closed combustion at high temperatures, producing ash and combustion gases. The incineration process is carried out using a tool called an incinerator. This research aims to analyze the effect of fuel variations in the form of RDF, waste briquettes and mixed waste on the temperature profile of the *Fixed Grate Dual Chamber* type incinerator. The test was carried out using an experimental approach by inserting fuel to be burned into the combustion chamber to then be burned at a control temperature of 900 °C and an air supply from the main blower of 10 m/s. The results of this research show that RDF combustion has the highest peak combustion temperature in chamber 1 and chamber 2, 1094.5 °C and 1267.3 °C respectively.

Keywords: Fixed Grate Dual Chamber Incinerator, Temperature Profile

1. Pendahuluan

Peningkatan sampah merupakan permasalahan serius karena erat kaitannya dengan isu lingkungan. Adapun beberapa faktor yang mempengaruhi bertambahnya timbunan sampah diantara seperti: pertambahan populasi manusia, perubahan gaya hidup dan urbanisasi [1]. Sampah berwujud padat yang dihasilkan oleh aktivitas manusia seperti kayu, plastik, kertas, dan sampah yang tidak mudah terbakar lainnya disebut *Municiple solid waste* [2]. Indonesia sebagai negara berkembang belum dapat mengolah MSW dengan baik disebabkan oleh beberapa faktor, seperti pengolahan sampah yang masih tradisional, pengalokasian dana penghimpunan sampah yang tinggi, peraturan pemerintah yang belum terintegrasi serta sikap masyarakat yang tidak peduli [3]. Salah satu inovasi dalam pengolahan MSW yaitu dengan mengubahnya menjadi bahan bakar

padat seperti *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan briket sampah.

RDF merupakan bahan bakar yang dihasilkan melalui pengolahan MSW dengan komposisi bahan yang mudah terbakar serta melibatkan beberapa proses seperti pemisahan, pengeringan, dan pencacahan sampah menjadi ukuran yang lebih kecil. Pemanfaatan RDF sebagai bahan bakar di industri semen di industri semen Yordania berdampak terhadap penghematan ekonomi dan penurunan emisi [4]. Sedikit berbeda dengan RDF, briket sampah merupakan yang dihasilkan melalui pengompakan limbah padat organik dan anorganik menjadi satu serta dapat digunakan sebagai bahan bakar. Namun pengolahan MSW memiliki beberapa keterbatasan seperti terbatasnya sampah yang mudah terbakar, terdapatnya limbah berbahaya yang sulit diolah dan mahal biaya pengolahan awal. Oleh

karena keterbatasan tersebut, dalam pengolahan MSW dipakai cara lain yaitu dengan menggunakan teknologi termal dengan metode insinerasi.

Insinerasi merupakan pembakaran limbah padat secara tertutup dengan temperatur tinggi yang efektif dalam mereduksi volume sampah secara signifikan dalam waktu yang singkat hingga menghasilkan produk akhir berupa gas buang hasil pembakaran dan abu [5]. Proses insinerasi dilakukan oleh alat bernama insinerator. Terdapat beberapa tipe insinerator yang disesuaikan dengan kebutuhan, salah satunya adalah insinerator *Fixed Grate*. Insinerator *Fixed Grate* cocok digunakan dalam pengolahan MSW dikarenakan desainnya yang praktis serta tidak membutuhkan lahan yang luas. Adapun fungsi *chamber* kedua yaitu sebagai pereduksi emisi gas hasil pembakaran insinerasi. Hal tersebut didukung oleh penelitian di Bagamoyo, Tanzania. Pada penelitian ini menjelaskan bahwa pembakaran limbah dengan insinerator *Fixed Grate Dual Chamber*, pada *chamber* kedua seiring dengan peningkatan suhu dapat secara efektif mengurangi emisi gas CO serta meningkatkan efisiensi pembakaran [6].

Penelitian kali ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi MSW berupa RDF, Briket Sampah, dan Sampah Campur terhadap profil temperatur pembakaran Insinerator *Fixed Grate Dual Chamber*.

Beberapa batasan yang ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Kapasitas ruang *chamber* 1 sebesar 0,2285 m³ dan *chamber* 2 sebesar 0,0637 m³.
2. Total massa tiap sampel bahan bakar sebesar 3 kg.
3. Komposisi sampah yang terdapat pada sampel sampah campur terdiri atas; Tempurung kelapa 40 %, Dedaunan kering 40 %, plastik 15 %, dan kertas 5 %.
4. Temperatur operasi pada *chamber* 1 diatur sebesar 900 °C dan *chamber* 2 sebesar 1000 °C.
5. Kecepatan suplai udara dari *blower* utama sebesar 10 m/s, kemudian kecepatan suplai udara dari *blower burner* 1 dan *burner* 2 diatur 6 m/s.
6. Pengambilan data diasumsikan dalam kondisi lingkungan *steady state*.

2. Dasar Teori

Municipal solid waste (MSW) merupakan sampah berwujud padat yang dihasilkan dari kegiatan perkotaan yang mencakup sampah rumah tangga, sampah badan komersil, dan sampah di area - area umum yang dianggap tidak bernilai. Jenis sampah kota yang dihasilkan diantaranya sampah organik berupa

sisia makanan, dedaunan dan kayu/ranting, sampah anorganik berupa kertas, plastik, pakaian, karet, kulit, dan logam serta sampah B3 berupa baterai bekas, sampah medis, dan lain sebagainya. Sampah tersebut dihasilkan dari kegiatan sehari – hari dan dipengaruhi oleh tingkatan sosial ekonomi penduduk, luas pemukiman, dan musim di daerah tersebut [7].

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) yang dipublikasikan pada situs Sistem Informasi Persampahan Nasional (SIPSN) mencatat bahwa total timbunan sampah di Indonesia selama tahun mencapai 26.178.440 ton, dengan 38,05 % atau 9.959.647 ton diantaranya merupakan sampah yang tidak terkelola. Sampah yang tidak terkelola umumnya berasal dari sampah yang tidak dapat ditangani dengan baik sehingga diperlukan tindakan pengolahan yang efektif untuk dapat mengurangi volume sampah dengan signifikan.

Pengolahan MSW secara termal dengan metode insinerasi merupakan salah satu metode yang memanfaatkan proses pembakaran secara tertutup dengan temperatur tinggi yang efektif dalam mengurangi volume MSW hingga 90 % serta dapat menghilangkan kandungan virus yang terdapat pada sampah hingga 100 % [8].

Fixed grate insinerator merupakan insinerator yang menggunakan sistem pembakaran dengan grate yang tetap untuk membakar MSW. Insinerator *Fixed grate* memiliki jalur bukaan yang fungsinya sebagai jalur masuknya MSW dan jalur sisanya berfungsi untuk memindahkan bahan MSW yang telah terbakar menjadi abu atau belum terbakar sepenuhnya. Pada bagian dasar terdapat *ash collector* yang fungsinya menampung abu sisa hasil pembakaran [9]. Produk akhir yang dihasilkan berupa abu dan gas hasil pembakaran.

3. Metode Penelitian

3.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

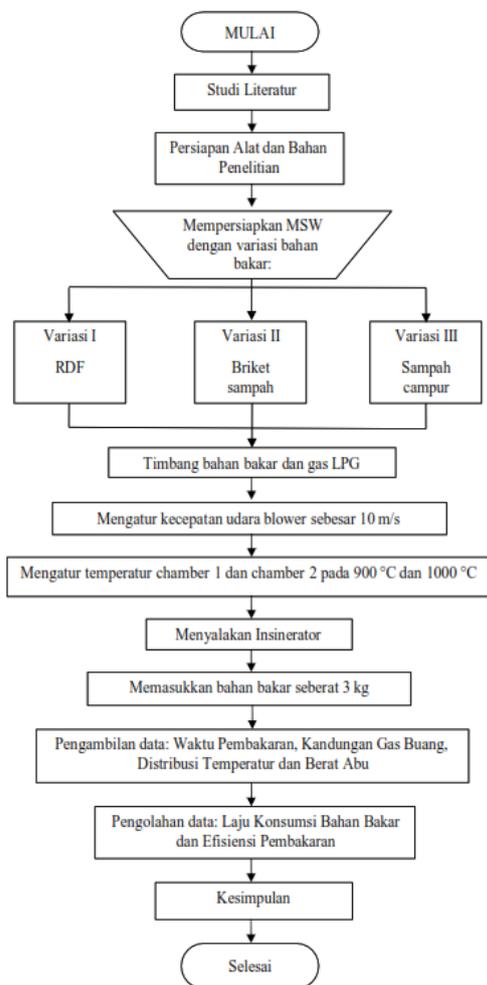
1. Insinerator Fixed Grate Dual Chamber
2. Sampel bahan bakar berupa : RDF, Briket Sampah, dan Sampah Campur.
3. Tabung gas LPG
4. Anemometer
5. Timbangan
6. Data logger
7. Timer
8. Laptop
9. Regulator Gas

Kemudian komponen yang terhubung pada Insinerator *Fixed Grate Dual Chamber* antara lain:

1. Reaktor Pembakaran (*dual chamber*)
2. *Burner*
3. Termokopel
4. *Cyclone*
5. Blower
6. *Gas line*
7. Purifier
8. *Glasswool*
9. *Ceramic fiber board*
10. Sensor ketinggian sampah
11. *Programmable Logic Control (PLC)*

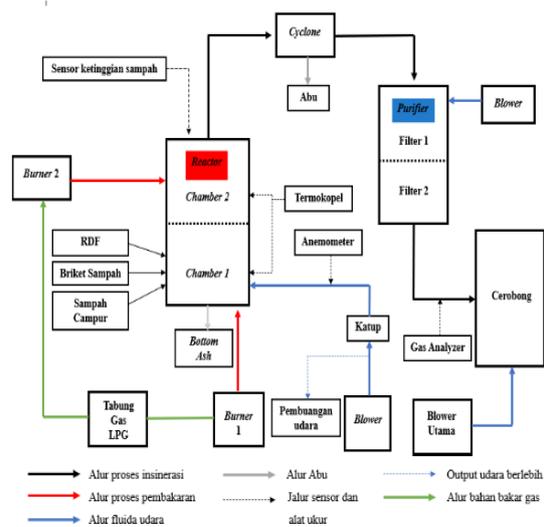
3.2. Diagram Alir Penelitian

Adapun diagram alir pada penelitian ini yaitu:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3.3. Skematik Alat Insinerator



Gambar 2. Skematik proses Insinerasi pada Insinerator *Fixed Grate Dual Chamber*

Pada gambar diatas, awalnya sampel masuk pada chamber 1 untuk dibakar dan menghasilkan abu (*bottom ash* dan *fly ash*) dan gas hasil pembakaran. *Buttom ash* ditampung pada *ash collector*, sementara itu *fly ash* dan gas hasil pembakaran akan dibakar kembali pada chamber 2. Kemudian gas hasil pembakaran dan *fly ash* yang tersisa akan menuju *cyclone* untuk kemudian dilakukan penyaringan terhadap *fly ash*. Setelah itu gas hasil pembakaran dan komponen lain yang tersisa akan disalurkan ke purifier untuk kemudian didinginkan temperaturnya menggunakan blower dan kemudian di filter kembali sebelum selanjutnya dibuang ke lingkungan melalui cerobong.

3.4. Pra-Pengujian

Sebelum proses pengujian dilakukan terlebih dahulu dilakukan proses pra pengujian yang mana dilakukan proses pengumpulan sampel sesuai dengan kebutuhannya kemudian dicacah untuk memperkecil ukuran sampel. Setelah itu, sampel kemudian ditimbang sesuai dengan massa yang telah ditetapkan dan dipersiapkan untuk diuji dengan pengujian proximate yang bertujuan untuk mengetahui komposisi fisika dari sampel yang meliputi *moisture content*, *volatile*, *fixed carbon*, dan *ash content*. Selain itu dilakukan juga pengujian *bomb calorimeter* untuk mengetahui nilai kalor pada masing – masing sampel.

3.5. Proses Pengujian

Proses pengujian menggunakan insinerator *Fixed Grate Dual Chamber* dimulai dengan memutar tuas tombol pada PLC untuk menyalakan PLC, kemudian atur temperatur operasi pembakaran pada chamber 1 sebesar 900 °C dan chamber 2 sebesar 1000 °C. Sebelum insinerator dinyalakan, pastikan tabung gas LPG terpasang pada regulator gas menuju burner sebagai sumber bahan bakar pada burner. Setelah itu mengatur kecepatan udara blower burner sebesar 6 m/s dan blower utama sebesar 10 m/s dengan melakukan pengukuran memakai anemometer. Setelah semua persiapan selesai termasuk proses penimbangan sampel yang akan dibakar, maka insinerator kemudian dinyalakan. Sampel kemudian dimasukkan menuju fuel feeder untuk kemudian didorong menuju chamber 1. Proses pembakaran sampel bahan bakar terjadi pada *chamber 1*, kemudian untuk partikulat yang melayang dan gas hasil pembakaran akan dibakar kembali pada *chamber 2*. Data temperatur chamber 1 dan 2 direkam menggunakan data logger yang terintegrasi dengan termokopel dan datanya tersimpan pada laptop. Gas sisa hasil pembakaran yang telah melewati chamber 2 akan diteruskan ke cyclone. Kemudian gas hasil pembakaran akan melewati gas line menuju purifier untuk dilakukan proses pendinginan termasuk penyaringan terhadap gas hasil pembakaran sebelum nantinya dibuang ke lingkungan melalui cerobong. Sementara itu abu hasil pembakaran yang terkumpul pada ash collector diambil pada pintu bagian dasar (*grate*) insinerator.

3.5. Parameter Profil Temperatur

Profil temperatur merupakan grafik yang diperoleh melalui data distribusi temperatur pada chamber 1 dan chamber 2 yang direkam menggunakan *data logger*. Profil temperatur dapat menunjukkan kualitas pembakaran tiap sampel bahan bakar.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Karakterisasi Komposisi Fisik Bahan Bakar

Karakterisasi komposisi fisik sampel bahan bakar dilakukan dengan menggunakan umumnya dilakukan untuk menganalisis kandungan fisik bahan bakar. untuk mengetahui

kandungan fisik bahan bakar dilakukan uji proximate menggunakan alat *Thermogravimetric analyzer 701* dengan standar ASTM D7582-2015. Berikut merupakan tabel hasil pengujian proximate terhadap ketiga sampel bahan bakar

Table 1. Hasil Uji Sampel Bahan Bakar

Bahan Bakar	Moisture content (%)	Volatile (%)	Fixed carbon (%)	Ash content (%)
RDF	3,00	86,60	3,30	7,10
Briket sampah	8,74	63,10	9,77	18,39
Sampah campur	9,49	66,85	16,04	7,62

4.2. Karakterisasi Nilai Kalor Bahan Bakar

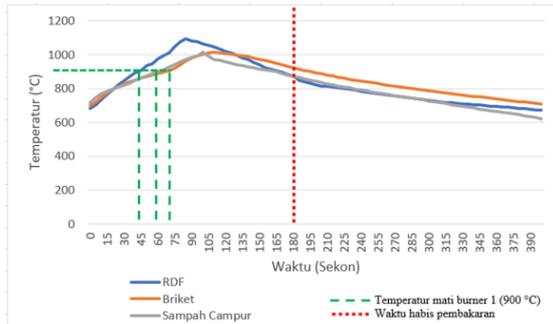
Karakterisasi nilai kalor dilakukan untuk menganalisis jumlah kalor (panas) yang terlepas tiap satuan massa dari bahan bakar. Nilai kalor diperoleh dengan melakukan uji bomb calorimeter menggunakan alat Parr 1341 *oxygen bomb calorimeter* dengan standar ASTM D5865. Berikut hasil uji nilai kalor terhadap ketiga sampel bahan bakar tersaji pada tabel di bawah ini:

Table 2. Hasil Uji Nilai Kalor Sampel Bahan Bakar

Sampel	Berat sampel (gram)	Nilai Kalor Sampel Bahan Bakar MSW			
		Suhu (ΔT)		Nilai Kalor (LHV)	
		T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	(cal/gr)	(MJ/kg)
RDF	1,02782	27,685	30,06	4090,64	17,12
Briket Sampah	1,16628	28,27	30,338	3003,35	12,57
Sampah campur	1,06789	25,493	27,823	3866,78	16,18

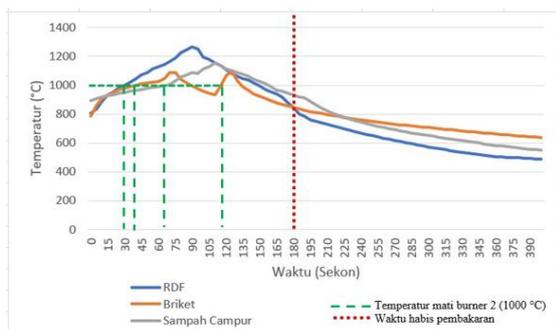
4.3. Profil Temperatur

Berikut ini merupakan grafik temperatur yang diperoleh dari pembakaran sampel tiap variasi bahan bakar yang tampak pada gambar distribusi temperatur *chamber 1* dan *chamber 2* dibawah ini.



Gambar 4. Grafik Temperatur Chamber 1 Tiap Variasi

Gambar di atas menunjukkan distribusi temperatur *chamber 1* pada tiap variasi bahan bakar. Temperatur puncak tertinggi diperoleh bahan bakar RDF sebesar 1094,5 °C, sedangkan temperatur puncak terendah diperoleh bahan bakar Briket Sampah sebesar 1013,4 °C.



Gambar 5. Grafik Temperatur Chamber 2 Tiap Variasi

Gambar di atas menunjukkan distribusi temperatur *chamber 2* pada tiap variasi bahan bakar. Temperatur puncak tertinggi diperoleh bahan bakar RDF sebesar 1267,3 °C, sedangkan temperatur puncak terendah diperoleh Briket Sampah sebesar 1095,9 °C. Hal ini sejalan dengan *chamber 1* dikarenakan lonjakan temperatur pada *chamber 1* turut pula mempengaruhi lonjakan temperatur yang terjadi pada *chamber 2*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan tujuan menganalisis bagaimana pengaruh variasi MSW berupa RDF, Briket sampah, dan Sampah Campur terhadap Profil Temperatur disimpulkan bahwa RDF memperoleh temperatur puncak tertinggi pada *chamber 1* dan *chamber 2* masing – masing sebesar 1094,5 °C dan 1267,3 °C. Sementara itu

untuk temperatur puncak terendah pada *chamber 1* dan *chamber 2* diperoleh Briket Sampah masing – masing sebesar 1013,4 °C dan 1095,9 °C

Daftar Pustaka

- [1] Suma, Y., Pusukphun, N., Hongtong, A., Keawdunglek, V., Laor, P., & Apidechkul, T. (2019). Waste Composition evaluation for solid waste management guideline in highland rural tourist area in Thailand. *Applied Environmental Research*, 41(2), 13-26.
- [2] Dong, J., Chi, Y., Tang, Y., Ni, M., Nzihou, A., Dong, J., Chi, Y., Tang, Y., Ni, M., Nzihou, A., Dong, J., Chi, Y., Tang, Y., Ni, M., Nzihou, A., & Weisshortala, E. (2016). Effect of Operating Parameters and Moisture Content on Municipal Solid Waste Pyrolysis and Gasification. *Energy & Fuels*, 30(5), 3994-4001.
- [3] Salsabila, A. S., Kameswara, A. S. P., Hidayanto, F., & Ramlan. (2022). Industry 4.0 Technology Impact on Environment : a Systematic Literature Review. *Jurnal Ilmiah Hospitality*, 11(2), 373-378.
- [4] Hemidat, S., Saidan, M., Al-zu, S., & Irishidat, M. (2019). Potential Utilization of RDF as an Alternative Fuel to be Used in Cement Industry in Jordan. *Sustainability*, 23.
- [5] Rizal, A. M., & Nurhayati, I. (2017). Pengolahan Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3) Dengan Insinerator Tipe Reciprocating Grate Incinerator. *WAKTU: Jurnal Teknik UNIPA*, 15(2), 21–27.
- [6] Mngoma Omari, A. (2015). Operating Conditions of A Locally Made Fixed-Bed Incinerator, a Case Study of Bagamoyo-Tanzania. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2), 80.
- [7] Ariyani, S. F., Putra, H. P., Kasam, Damanhuri, E., & Sembiring, E. (2019). Evaluation of Waste Management in Piyungan Landfill, Bantul Regency, Yogyakarta, Indonesia. *Matec Web of Conference*, 280, 05018.

- [8] Rudend, A. J., & Hermana, J. (2021). Kajian Pembakaran Sampah Plastik Jenis Polipropilena (PP) Menggunakan Insinerator. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2).
- [9] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (2018). Teknologi Termal WtE Berbasis Proses Pembakaran (Insinerasi). Modul Pelatihan, 1(09), 1-124.

	<p>Martua Belgrat Panggabean</p> <p>menyelesaikan program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana tahun 2025.</p>
<p>Judul tugas akhir Pengaruh Variasi Jenis Sampah <i>Municipal Solid Waste (Refuse Derived Fuel, Briket, dan Sampah Campur)</i> terhadap Performansi Insinerator <i>Dual Chamber</i></p>	

	<p>Prof. I Nyoman Suprapta Winaya, S.T., MA.Sc., Ph.D. menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 1994, S2 di Dalhousie University pada tahun 2000, dan S3 di Niigata University pada tahun 2008. Prof. I Nyoman Suprapta Winaya, S.T., MA.Sc., Ph.D memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.</p>
---	--

	<p>I Wayan Arya Darma, S.T., M.T. Menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana pada tahun 2013, dan menyelesaikan studi S2 di Universitas Udayana pada tahun 2018. I Wayan Arya Darma S.T., M.T. memiliki konsentrasi ilmu dalam bidang konversi energi.</p>
---	---