

Uji Performansi Insinerator Sampah Residu Dengan Variasi Kecepatan Udara Pembakaran

Fadhil Alfarel Wisprantoko, I Nyoman Suprapta Winaya, I Gede Putu Agus Suryawan, I Wayan Arya Darma

Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Bali adalah destinasi wisata yang terkenal di dunia dengan jumlah kunjungan wisatawan di Bali pada tahun 2019 mencapai 6.2 juta wisatawan. Hal ini menyebabkan penumpukan jumlah sampah di TPA seperti sampah organik, anorganik, dan sampah tidak bisa di daur ulang (sampah residu), semakin hari terus bertambah. Insinerator merupakan teknologi alternatif pengolahan sampah yang dapat mengonversi sampah menjadi gas dan abu dengan menggunakan metode pembakaran pada temperatur tinggi. Kecepatan udara pada proses pembakaran menjadi salah satu indikator penting dalam performansi insinerator karena menentukan kualitas pembakaran pada reaktor insinerator. Variasi kecepatan udara pembakaran yang digunakan pada penelitian ini yaitu 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s. Berdasarkan seluruh indikator performansi insinerator sampah residu yang didapat pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa variasi kecepatan udara 4 m/s merupakan variasi kecepatan udara yang paling baik dikarenakan kandungan gas buang menunjukkan proses pembakaran yang baik, laju pembakaran tertinggi (5,413 kg/Jam), laju penggunaan bahan bakar solar yang paling rendah (0,105 L/jam), kapasitas termal tertinggi (87,057 MJ/jam), serta efisiensi pembakaran yang baik dan terbilang tinggi (95,16031 %).

Kata Kunci: Insinerator, Sampah Residu, Variasi Kecepatan Udara, Performansi

Abstract

Bali is one of the most famous tourist destinations in the world with the number of tourist visits in Bali in 2019 reaching 6.2 million tourists. This causes the accumulation of the amount of waste in the landfill such as organic, inorganic, and residual waste that cannot be recycled, increasing day by day. Incinerator is an alternative technology for processing waste that can convert waste into gas and ash by using the combustion method at high temperatures. Air velocity in the combustion process is one of the important indicators in incinerator performance because it determines the quality of combustion in the incinerator reactor. Variations in the combustion air velocity used in this study were 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, and 6 m/s. Based on all indicators of residual waste incinerator performance obtained in this study, it can be concluded that the variation of air velocity 4 m/s is the best variation of air velocity because the exhaust gas content shows a good combustion process, the highest combustion rate (5.413 kg/hour), the lowest rate of use of diesel fuel (0.105 L/hour), the highest thermal capacity (87.057 MJ/hour), and good and fairly high combustion efficiency (95.16031 %).

Keywords: Incinerator, Residual Waste, Combustion Air Velocity Variation, Performance

1. Pendahuluan

Bali merupakan salah satu destinasi wisata yang terkenal di dunia dengan objek wisata alam yang indah dan bervariasi. Namun dibalik keindahannya tersebut, jumlah sampah yang dihasilkan di Bali begitu banyak. Hal ini menuntut berbagai pihak dari pemerintah hingga masyarakat untuk bekerja sama dalam mengurangi jumlah sampah. Beberapa bentuk penanganan yang dilakukan pemerintah provinsi Bali yaitu dengan mengeluarkan Pergub No. 97 Tahun 2018 tentang melarang penggunaan plastik sekali pakai dan menyediakan TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) sebagai tempat memproses sampah agar aman untuk dikembalikan ke lingkungan dan manusia.

Namun setelah berjalannya peraturan tersebut, Dinas Kehutanan Dan Lingkungan

Hidup (DLHK) menyatakan Bali menghasilkan sampah mencapai 1,5 juta ton sampah setiap tahunnya atau 4,281 ton setiap harinya dengan 52 % jumlah sampah belum dikelola dengan baik [1]. Selain itu permasalahan yang terjadi di TPA, sampah yang ditampung di TPA belum dikelola dengan maksimal sehingga menyebabkan penumpukan sampah semakin hari terus bertambah serta membutuhkan lahan yang lebih luas [2].

Terdapat beberapa kekurangan pada metode komposting dan *landfill*. Kekurangan pada metode kompos yaitu hanya sampah tertentu yang dapat diolah menjadi kompos sehingga sampah yang tidak dapat diolah tetap menjadi sampah. Kekurangan pada metode *landfill* yaitu lahan yang dibutuhkan cukup besar dengan jumlah sampah yang

dihasilkan setiap harinya di Bali sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada tanah dan berakibat buruk pada lingkungan sekitar. Dari beberapa kekurangan pada metode komposting dan landfill, metode insinerasi menjadi opsi yang dapat diandalkan untuk mengatasi permasalahan sampah di Bali [3].

Metode insinerasi merupakan metode pengolahan sampah dengan cara dibakar pada temperatur tinggi untuk mereduksi sampah, membunuh bakteri, virus, dan kimia toksik[4]. Salah satu teknologi pengolahan sampah dengan metode insinerasi yaitu teknologi insinerator.

Kesempurnaan pembakaran merupakan faktor penting pada teknologi insinerator. Dalam kesempurnaan pembakaran, terdapat tiga hal yang dapat mempengaruhi proses pembakaran yaitu perbandingan kebutuhan udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio*), kehomogenan campuran, dan temperatur pembakaran. Setiap AFR menghasilkan emisi gas buang yang berbeda-beda. Perbandingan udara dengan bahan bakar yang tidak ideal akan berdampak terhadap proses pembakaran. Proses pembakaran yang kurang sempurna dapat berpotensi menghasilkan emisi gas buang yang mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) [5].

Untuk itu permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi kecepatan udara pembakaran pada AFR terhadap performansi insinerator sampah residu. Berikut dibatasi dengan penentuan kecepatan udara sebesar 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s. Adapun sampah yang digunakan sudah dicacah dan dikeringkan.

2. Dasar Teori

2.1. Insinerator

Insinerator adalah teknologi tungku pembakaran yang dapat mengelolah limbah padat (sampah) dan mengkonversi materi padat (sampah) menjadi materi gas dan abu (*bottom ash* dan *fly ash*). Kelebihan dari Insinerator yaitu mampu merubah bentuk sampah menjadi lebih kecil menghasilkan sisa pembakaran yang sterill sehingga dapat langsung dibuang ke tanah, selain itu insinerator dapat merubah volume sampah mencapai 85%-90% dan pengurangan berat sampah sebesar 70%-80%.

2.2. Parameter Unjuk Kerja Insinerator

Dibutuhkan pengujian pada unjuk kerja mesin sehingga dapat memastikan penggunaannya dapat maksimal. Beberapa parameter unjuk kerja insinerator yaitu [6]:

- Pengukuran suhu
- Laju pembakaran

c. Rendeman abu

Untuk lebih mengetahui performansi insinerator dalam penggunaan yang maksimal dapat dinilai dengan menghitung:

a. Kapasitas termal

$$\text{Kapasitas termal} = B_{bt} \times C \quad (1)$$

Keterangan

$$B_{bt} = \text{Laju pembakaran (kg/jam)}$$

$$C = \text{Nilai Kalor (J/kg)}$$

b. Efisiensi pembakaran

$$\text{Efisiensi pembakaran} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} \quad (2)$$

Keterangan

$$Q_{in} = \text{Massa sampah} \times \text{LHV (J)}$$

$$Q_{out} = \text{Kalor yang terbuang (J)}$$

2.3. Air Fuel Ratio (AFR)

Salah satu hal yang harus diperhatikan pada proses pembakaran yaitu jumlah udara dan bahan bakar. Untuk mengetahui kuantitas jumlah udara dan bahan bakar pada proses pembakaran dinyatakan menggunakan AFR yaitu perbandingan antara massa udara dengan massa bahan bakar[7].

$$\text{AFR} = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{(N.M)_{air}}{(N.M)_{fuel}} \quad (3)$$

Keterangan:

$$m_{air} = \text{Massa udara (kg)}$$

$$m_f = \text{Massa bahan bakar (kg)}$$

$$N_a = \text{Jumlah mol udara (kmol)}$$

$$N_f = \text{Jumlah mol bahan bakar (kmol)}$$

$$M_a = \text{Massa molar udara (kg/kmol)}$$

$$M_f = \text{Massa molar bahan bakar (kg/mol)}$$

Laju aliran massa merupakan mengalirnya jumlah massa suatu zat melalui suatu permukaan persatuan waktu. Beberapa faktor yang mempengaruhi laju aliran massa yaitu luas penampang, densitas, dan kecepatan.

$$\dot{m}(\text{kg/s}) = \rho \cdot V \cdot A \quad (4)$$

Keterangan:

$$\rho = \text{Densitas (kg/m}^3)$$

$$V = \text{Kecepatan rata-rata (m/s)}$$

$$A = \text{Luas Penampang (m}^2)$$

2.4. Proses pembakaran

Proses pembakaran yaitu proses berlangsungnya bahan bakar yang teroksidasi secara cepat dengan pelepasan energi (panas) dalam jumlah banyak. Proses pembakaran sempurna dapat terjadi apabila suplai udara pada proses pembakaran mencukupi. Dalam pembakaran aktual, pencampuran udara dan bahan bakar biasanya didekati melalui penambahan *excess air*. Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi proses pembakaran yaitu:

- Turbulence.
- Kebutuhan udara yang cukup pada proses pembakaran.
- Suhu pembakaran (Temperatur).
- Waktu yang cukup untuk berlangsungnya reaksi (Time).

e. Berat jenis bahan yang akan dibakar.

3. Metode penelitian

Metode penelitian yang dilakukan menerapkan studi eksperimental untuk mengetahui pengaruh dari satu variabel ke variabel lainya dengan batasan- batasan yang ada. Studi eksperimental pada metode penelitian ini bertujuan untuk mencari pengaruh variasi kecepatan udara pembakaran pada AFR terhadap performansi insinerator sampah residu dengan menggunakan bahan bakar sampah residu yang telah dicacah dan dikeringkan selama 3 hari.

Adapun variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

a. Variabel bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang diberi perlakuan yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang dikehendaki. Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan yaitu variasi kecepatan udara *blower* pada *primary chamber* dalam proses insinerasi insinerator sampah residu. Dalam menentukan variasi kecepatan yang digunakan maka perlu diketahui terlebih dahulu AFR stoikiometri agar mendapatkan kebutuhan kecepatan udara pada AFR stoikiometri. Dari perhitungan kecepatan udara yang dibutuhkan pada AFR stoikiometri mendapatkan hasil 4,315 m/s, sehingga dalam penelitian ini variasi kecepatan udara yang digunakan yaitu:

- Kecepatan udara 2 m/s.
- Kecepatan udara 3 m/s.
- Kecepatan udara 4 m/s.
- Kecepatan udara 5 m/s.
- Kecepatan udara 6 m/s.

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah faktor- faktor yang mendapatkan pengaruh dari variabel bebas. Variabel terikat pada penelitian insinerator sampah residu yaitu:

- Laju pembakaran.
- Laju penggunaan bahan bakar solar.
- Komposisi gas buang.
- Kapasitas termal.
- Efisiensi pembakaran.

c. Variabel kontrol

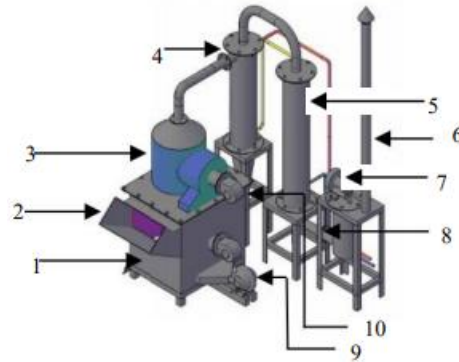
Variabel yang dibuat konstan sehingga faktor- faktor yang tidak diteliti dari luar tidak dapat mempengaruhi variabel. Adapun variabel kontrol pada penelitian ini sebagai berikut:

- Temperatur operasi yang dikontrol melalui *box panel* sebesar 400°C

b. Jumlah sampah residu yang digunakan sebesar 10 kg untuk setiap variasi kecepatan udara.

c. Lama proses pembakaran yaitu 80 menit.

Pada gambar 1 akan ditampilkan skematik alat insinerator sampah residu yang digunakan dalam penelitian ini beserta keterangannya.

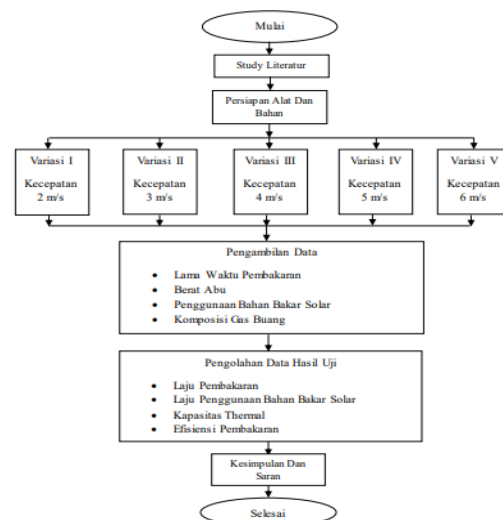


Gambar 1. Skematik Insinerator Sampah Residu

Keterangan:

- Primary Chamber*
- Fuel Feeder*
- Secondary Chamber*
- Cyclone*
- Alat Penukar Panas
- Cerobong Asap
- ID Fan*
- Tabung Arang Aktif
- Blower 1*
- Blower 2*

Berikut merupakan diagram alir pada proses penelitian insinerator sampah residu.

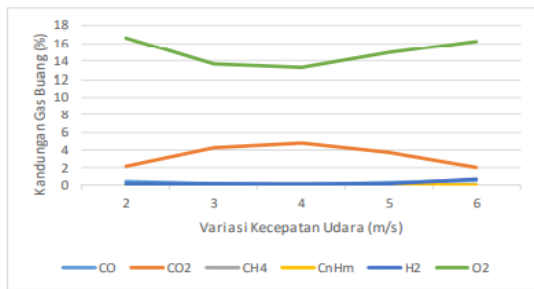


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Kandungan Gas Buang

Berikut merupakan grafik kandungan gas buang yang didapat melalui *gas analyzer*.



Gambar 3. Grafik kandungan gas buang

Berdasarkan grafik tersebut, didapat data hasil *gas analyzer* yang menyatakan persentase kandungan emisi gas buang dari setiap variasi kecepatan udara memperoleh hasil yang cukup kecil yaitu CO (0,612 %), CH4 (0,06 %), CnHm (0 %) dan CO2 (4,79%) atau bisa dikatakan emisi gas buang yang dihasilkan tidak melebihi 5%. Selain itu pada grafik yang ditunjukkan pada variasi kecepatan udara 2 m/s dan 6 m/s mengalami proses pembakaran yang tidak pada kondisi ideal yang disebabkan oleh kandungan oksigen kurang atau melebihi kebutuhan pada proses pembakaran sehingga menyebabkan pembakaran tidak sempurna membakar habis bahan bakar dan membuat semua bahan bakar tidak menjadi CO₂.

4.2. Laju Pembakaran

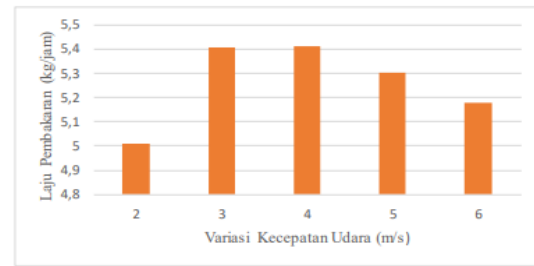
Laju pembakaran dihitung melalui perbandingan antara selisih massa bahan bakar sebelum dilakukan proses insinerasi hingga proses insinerasi selesai dan menghasilkan massa abu sisa pembakaran, dengan waktu proses pembakaran.

Dari hasil pengujian dan perhitungan yang dilakukan, maka dapat ditampilkan data pada tabel berikut:

Tabel 1. Tabel Laju Pembakaran

Variasi kecepatan udara (m/s)	Massa abu sampah residu (m _{abu}) (kg)	Laju Pembakaran (B _{bt}) (kg/jam)
2	3,34	5,007
3	2,81	5,406
4	2,80	5,413
5	2,95	5,300
6	3,11	5,180

Berdasarkan gambar 3., dari setiap variabel mengalami grafik laju pembakaran yang naik dan turun. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu kecepatan aliran udara, kadar air, *volatile matter*, ukuran partikel, dan temperatur pembakaran[8].



Gambar 3. Grafik Laju Pembakaran

Dari grafik laju pembakaran diatas dapat dinyatakan bahwa variasi kecepatan udara 4 m/s merupakan nilai laju pembakaran yang terbaik dari seluruh variabel kecepatan dikarenakan dalam 1,33 jam alat insinerator mampu mereduksi massa bahan bakar sampah residu sebesar 5,413 kg.

4.3. Laju Penggunaan Bahan Bakar Solar

Pengolahan data laju penggunaan bahan bakar solar diketahui untuk mencari pengaruh kecepatan udara pembakaran yang dihasilkan blower primer pada reaktor insinerator terhadap penggunaan bahan bakar solar selama proses insinerasi. Laju penggunaan bahan bakar solar dapat diketahui dengan mengukur volume solar sebelum dan sesudah proses pembakaran yang kemudian dikonversikan menjadi satuan liter. Berikut merupakan tabel data yang didapat dari perhitungan laju penggunaan bahan bakar solar.

Tabel 2. Tabel Laju Penggunaan Bahan Bakar Solar

Variasi kecepatan udara (m/s)	Volume solar yang digunakan (L)	Laju penggunaan bahan bakar solar (L/jam)
2	2,12	1,593
3	0,63	0,473
4	0,14	0,105
5	1,90	1,428
6	2,45	1,842

Dari tabel diatas dapat ditampilkan grafik sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Laju Penggunaan Bahan Bakar Solar

Berdasarkan grafik laju penggunaan bahan bakar solar diatas, menunjukkan grafik

yang beragam dikarenakan setiap perbandingan udara dengan bahan bakar menghasilkan pembakaran yang berbeda-beda sehingga pembakaran yang kurang sempurna dapat mempengaruhi lama nyala api dan konsumsi bahan bakar pada proses insinerasi.

Dari grafik laju penggunaan bahan bakar solar diatas, dapat dinyatakan bahwa variabel kecepatan udara yang paling baik terjadi pada kecepatan udara 4 m/s dikarenakan bahan bakar solar yang digunakan selama 1,33 jam proses insinerasi sebanyak 0,105 liter.

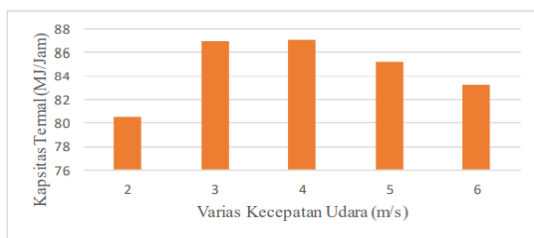
4.4. Kapasitas Termal

Pengolahan data kapasitas termal dilakukan untuk mengetahui kapasitas termal pada bahanbakar sampah residu selama insinerasi didalam reaktor insinerator berlangsung. Berikut merupakan tabel dari hasil perhitungan kapasitas termal.

Tabel 3. Tabel Kapasitas Termal

Variasi kecepatan udara (m/s)	Laju Pembakaran (Bbt) (kg/jam)	Kapasitas Termal (C) (MJ/Jam)
2	5,007	80,527
3	5,406	86,944
4	5,413	87,057
5	5,300	85,239
6	5,180	83,309

Dari data tabel 3., maka dapat ditampilkan grafik kapasitas termal sebagai berikut.



Gambar 5. Grafik Kapasitas Termal

Berdasarkan grafik kapasitas termal, dapat disimpulkan bahwa variabel kecepatan udara dengan kapasitas termal terbaik yaitu variasi kecepatan udara 4 m/s dengan kapasitas termal sebesar 87,057 MJ/jam. Faktor kecepatan aliran udara pada proses pembakaran mempengaruhi nilai kalor pada bahan bakar sehingga juga berdampak terhadap kapasitas termal pada proses insinerasi.

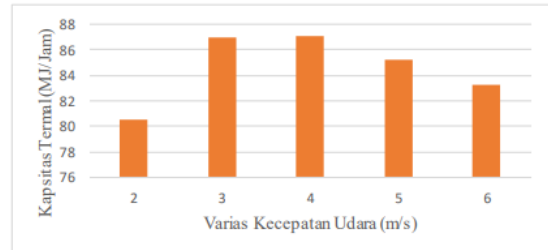
4.5. Efisiensi Pembakaran

Pengolahan data efisiensi pembakaran dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kalor yang berguna dalam proses insinerasi dengan menghitung perbandingan kalor yang terpakai dengan kalor yang masuk kedalam proses pembakaran. Berikut merupakan hasil dari perhitungan efisiensi pembakaran pada proses insinerasi.

Tabel 4. Tabel Efisiensi Pembakaran

Variasi kecepatan udara (m/s)	Efisiensi pembakaran (%)
2	84,2709
3	90,9255
4	95,1603
5	78,8263
6	41,9237

Dari data efisiensi pembakaran yang didapat, maka dapat ditampilkan grafik efisiensi pembakaran sebagai berikut.



Gambar 6. Grafik Efisiensi Pembakaran

Berdasarkan gambar 4 di atas, data efisiensi pembakaran yang didapat, menunjukkan bahwa variasi kecepatan udara 4 m/s memiliki efisiensi pembakaran yang sangat baik dengan hasil efisiensi pembakaran sebesar 95,16 %. Hal ini menyatakan bahwa pada variasi kecepatan udara 4 m/s, energi panas yang dikeluarkan pada proses pembakaran didalam reaktor insinerator hanya terbuang sedikit.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap pengaruh variasi kecepatan udara pembakaran terhadap performansi sampah residu, dapat disimpulkan bahwa:

- Analisa gas buang yang dihasilkan pada proses insinerasi menunjukkan bahwa gas buang yang tercipta dapat dikatakan baik bagi udara dan lingkungan sekitar dikarenakan unsur CO, CH₄, CO₂, dan CnHm yang terkandung didalam gas buang tidak lebih dari 4,79 %.
- Berdasarkan seluruh indikator performansi insinerator sampah residu yang didapat pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa variasi kecepatan udara 4 m/s merupakan variasi kecepatan udara yang paling baik dikarenakan kandungan gas buang yang menunjukkan proses pembakaran yang baik, laju pembakaran tertinggi (5,413 kg/Jam), laju penggunaan bahan bakar solar yang paling rendah (0,105 L/jam), kapasitas termal tertinggi (87,057 MJ/jam), serta efisiensi pembakaran yang baik dan terbilang tinggi (95,16031 %). Selain itu variasi kecepatan udara 4 m/s juga mendekati

kecepatan udara yang dibutuhkan pada AFR stoikiometri (campuran ideal) yaitu sebesar 4,315 m/s sehingga insinerator sampah residu menghasilkan pembakaran sempurna.

Campuran Biji Nyamplung (Calophyllum Inophyllum) Dan Abu Sekam Padi". Dinamika Teknik Mesin

Daftar Pustaka

- [1] Rhohman F., Ilham M.M., 2019, *Analisa Dan Evaluasi Rancang Bangun Insinerator Sederhana Dalam Mengelola Sampah Rumah Tangga*, Jurnal Mesin Nusantara Program Studi Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI, Kediri.
- [2] Partha C. G. I., 2012, *Penggunaan Sampah Organik Sebagai Pembangkit Listrik Di Tpa Suwung – Denpasar*, Majalah Ilmiah Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Bali.
- [3] Rosmaini, 2014, *Rancang Bangun Alat Incinerator Untuk Pembakaran Limbah Infeksius Menggunakan Metode Primary dan Secondary Chamber*, Tugas Akhir Program Studi Teknik Energi, Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang.
- [4] Sukamta, Wiranata A., Thoharuddin, 2017, *Pembuatan Alat Incinerator Limbah Padat Medis Skala Kecil*, Jurnal Ilmiah Semesta Teknika
- [5] Tenaya I.G.N.P., Hardiana M., 2011, *Pengaruh Air Fuel Ratio Terhadap Emisi Gas Buang Berbahan Bakar Lpg Pada Ruang Bakar Model Helle-Shaw Cell*, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin.
- [6] Prasetiono A.D., 2016), *Pengujian Alat Incinerator Untuk Pengolahan Limbah Padat Rumah Sakit Tanpa Menggunakan Bahan Bakar Minyak dan Gas*, Dk, vol. 53.
- [7] Prabawa P.A., 2010, *Pengaruh Tekanan Udara Terhadap Sifat Pembakaran Minyak Residu Menggunakan Vaporizing Burner Untuk Peleburan Aluminium*, Skripsi Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- [8] Almu, M. A., Syahrul, S., & Padang, Y. A. (2014). "Analisa Nilai Kalor Dan Laju Pembakaran Pada Briket



Fadhil Alfarel Wisprantoko menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin, pada tahun 2021

Bidang penelitian yang menjadi konsentrasi adalah topik pembahasan konversi energi