

Studi Pengaruh Temperatur Pirolisis *Fixed Bed* Terhadap Campuran Limbah Plastik *Polyethylene Terephthalate*, *Polystyrene*, dan *Low Density Polyethylene*

Stanislaus Hans Wardoyo, I Nyoman Suprpta Winaya, Ketut Astawa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali

Abstrak

Limbah plastik dan juga ketersediaan energi merupakan keprihatinan bersama dewasa ini. Salah satu cara mengatasinya adalah dengan memanfaatkan teknologi pirolisis. Pirolisis sendiri dapat mengkonversi bahan bakar padat menjadi minyak kondensat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur pirolisis *fixed bed* terhadap kesetimbangan massa hasil, laju konversi bahan bakar, dan waktu tetes awal pada campuran limbah plastik *polyethylene terephthalate* (PET), *polystyrene* (PS), dan *low density polyethylene* (LDPE). Variasi temperatur proses yang digunakan adalah 350°C, 450°C, 550°C, dan 650°C. Untuk memaksimalkan hasil, proses pirolisis dilakukan dengan keadaan tanpa oksigen dan menggunakan katalis sebagai bed yaitu pasir silika. Dari penelitian yang dilakukan didapatkan bahwa hasil minyak kondensat terbanyak pada temperatur 650°C. Untuk laju konversi bahan bakarnya, semakin tinggi temperatur proses pirolisis *fixed bed* maka nilai laju konversi bahan bakarnya juga semakin besar. Sedangkan untuk waktu tetes awal dari minyak kondensat, semakin tinggi temperatur proses pirolisis *fixed bed* maka waktu tetes awal dari minyak kondensat juga semakin cepat.

Kata Kunci: Pirolisis, *Fixed Bed*, Sampah Plastik, Minyak Kondensat, Pasir Silika

Abstract

Plastic waste and also energy reserve are a common concern today. One way to overcome this problems are by utilizing pyrolysis technology. Pyrolysis itself can convert solid fuels into condensate oil. This study aims to determine the effect of *fixed bed* pyrolysis temperature on yield mass balance, fuel conversion rate, and initial drop time in a mixture plastic waste of *polyethylene terephthalate* (PET), *polystyrene* (PS), and *low density polyethylene* (LDPE). The process temperature variations used are 350°C, 450°C, 550°C, and 650°C. To maximize yield, the pyrolysis process is carried out in an oxygen-free state and uses a catalyst as a bed, silica sand. From the research conducted it was found that the most condensate oil yields at a temperature of 650°C. For the fuel conversion rate, the higher the temperature of the *fixed bed* pyrolysis process, the value of the fuel conversion rate is also greater. Whereas for the initial drops of condensate oil, the higher the temperature of the *fixed bed* pyrolysis process, the initial drops of condensate oil are also faster.

Keywords: Pyrolysis, *Fixed Bed*, Plastic Waste, Condensate Oil, Silica Sand

1. Pendahuluan

Lebih dari dua dekade terakhir ini, Indonesia menjadi salah satu negara berkembang yang memiliki pertumbuhan dan perkembangan pesat di berbagai sektor [1]. Mulai dari pertumbuhan pada sektor industri, penduduk, perkembangan destinasi pariwisata, dan berbagai pertumbuhan di sektor lainnya. Ditambah lagi dengan masuknya teknologi dan pengaruh globalisasi. Pertumbuhan – pertumbuhan pada sektor tersebut berdampak pada kebutuhan akan energi yang sangat tinggi tetapi tidak diimbangi dengan ketersediaan akan energi yang tersedia.

Tidak dapat dipungkiri bahwa segala perkembangan yang telah terjadi memberikan banyak sekali dampak positif yang tentunya membantu dan mempermudah kehidupan manusia. Hanya saja dibalik dampak positif yang muncul juga terdapat beberapa dampak negatif bagi manusia. Sebut saja kerusakan lingkungan yang semakin parah dari hari ke hari dan terjadinya pemanasan global (efek rumah kaca).

Dari sekian banyak permasalahan yang ditimbulkan ada dua dampak negatif yang telah selayaknya menjadi keprihatinan bersama. Hal

tersebut adalah semakin menumpuknya sampah yang dihasilkan dari berbagai kegiatan yang mendukung perkembangan tersebut seperti dari sektor industri dan pengembang pariwisata. Begitu pula halnya dengan dengan kebutuhan akan energi yang besar yang menjadi konsekuensi dari pertumbuhan – pertumbuhan ini [2]. Beberapa jenis plastik yang menyumbang presentase terbanyak adalah jenis plastik *polyethylene terephthalate* (PET) yang terdapat pada kemasan botol air mineral dan kotak makan mika plastik; *polystyrene* (PS) yang terdapat pada berbagai jenis *styrofoam*; dan *low density polyethylene* (LDPE) yang terdapat pada kantong plastik yang sangat sering kita jumpai dalam kehidupan sehari – hari. Dalam penanganannya, permasalahan sampah plastik ini sangat sulit karena plastik termasuk polimer yang merupakan *nonbiodegradable* yang membutuhkan waktu lebih dari 450 tahun untuk mulai terurai. Jika dilakukan cara penanganan dengan cara dibakar, sampah plastik dapat menghasilkan dampak yang sangat berbahaya karena gas hasil dari pembakaran plastik mengandung zat – zat berbahaya seperti nitrogen oksida, karbon monoksida, karbon dioksida, dan juga

sulfur oksida yang sangat beracun jika terhirup makhluk hidup termasuk manusia [3].

Selain itu pula ketergantungan dengan sumber energi yang berasal dari fosil juga menimbulkan masalah dikarenakan keterbatasan dari jumlah fosil itu sendiri. Dengan itu dibutuhkan pula energi terbarukan yang mudah diproduksi untuk dapat mengakomodasi pertumbuhan dari berbagai sektor industri tersebut dan juga bersifat ramah lingkungan. Dengan kedua pokok permasalahan di atas salah satu cara penanggulangan yang efektif adalah dengan menerapkan metode pirolisis pada plastik. Proses pirolisis adalah proses fraksinasi atau penguraian material organik secara thermal pada temperatur tinggi yang biasanya dimulai pada temperatur di atas 200° Celsius dengan keadaan tanpa oksigen atau anaerobik. Dikarenakan adanya ketidakstabilan thermal pada komponen menyebabkan komponen tersebut akan terurai dan menguap. Hasil dari proses dari pirolisis ini sendiri biasanya terdiri dari dua jenis yaitu gas dan padat berupa arang [4]. Setelah dilakukan proses pirolisis tersebut, gas hasil pembakaran tersebut dapat ditangkap untuk kemudian didinginkan dengan berbagai cara sehingga temperatur akan turun dan terjadi pengembunan. Zat cair dari hasil pengembunan yang ditampung tersebut merupakan minyak kondensat yang dapat digunakan sebagai bahan bakar cair. Selain itu sisa pemanasan yang berupa arang juga dapat digunakan sebagai bahan bakar padat.

Sehingga yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh temperatur pirolisis fixed bed terhadap campuran limbah plastik polyethylene terephthalate, polystyrene, dan low density polyethylene.

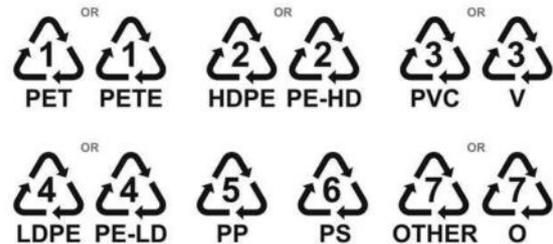
Beberapa batasanpun ditetapkan untuk dapat mendapatkan hasil yang sesuai dengan yang diinginkan. Diantaranya adalah:

1. Reaktor pirolisis yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah pirolisis *fixed bed* yang ada di *Group Research New Renewable Energy and Energy conservation*.
2. Sampah sebagai bahan baku yang digunakan adalah jenis plastik *polyethylene terephthalate* yang terdapat pada kemasan air mineral, *polystyrene* yang terdapat pada styrofoam kotak makanan dan *low density polyethylene* yang terdapat pada kantong kresek di provinsi Bali.
3. Data – data yang akan dikaji merupakan kesetimbangan massa hasil pirolisis *fixed bed*, laju konversi bahan bakar, dan waktu tetes awal.

2. Dasar Teori

Pada dasarnya plastik merupakan rangkaian rantai atom panjang yang saling mengikat. Rantai atom ini membentuk molekul berulan yang disebut juga dengan monomer. Terdapat banyak sekali jenis plastik yang ada disekitar kita. Untuk mempermudah mengidentifikasi bahan penyusunnya maka diberikan penomoran kode agar mempermudah identifikasi

jenis plastik tersebut. Kode tersebut juga tercantum pada produk plastik tersebut [4]. Pengkodean plastik dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini.

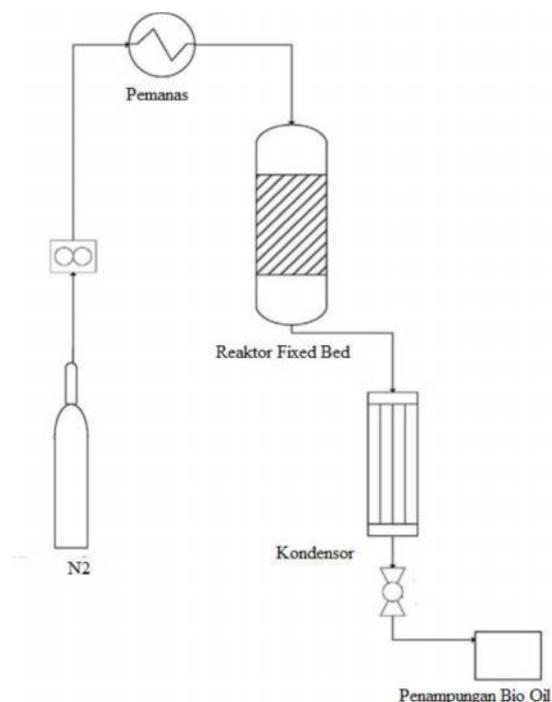


Gambar 1. Nomor Kode Plastik (UNEP, 2009)

Sedangkan pirolisis merupakan suatu merupakan suatu proses dekomposisi termal tanpa oksigen atau sedikit oksigen. Pada dekomposisi plastik dimulai dari suhu 230°C [5].

Pada proses pirolisis akan dihasilkan tiga jenis penggolongan produk/ hasil [6]. Diantara lain adalah:

1. Gas: Gas yang dihasilkan kebanyakan adalah gas hasil proses karbonisasi dan memiliki sifat mudah terbakar seperti CO, CH₄, H₂, dan hidrokarbon tingkat rendah lain.
2. Destilasi gas yang menjadi asap cair atau disebut minyak kondensat
3. Bahan bakar padat berupa arang yang merupakan sisa bahan bakar padat yang tidak terdekomposisi dan menjadi gas.



Gambar 2. Skematik Diagram Reaktor Pirolisis *Fixed Bed*

Ada beberapa jenis reaktor yang biasa digunakan dalam proses pirolisis antara lain adalah reaktor pirolisis *fixed bed*, reaktor pirolisis *fluidized bed*, dan reaktor pirolisis *entrained bed*.

Pada reaktor pirolisis *fixed bed*, panas dihasilkan dari sumber eksternal dan membiarkan pembakaran

terjadi di dalam reaktor tanpa adanya oksigen yang mengikat karbon. Produk gas dapat mengalir keluar diakibatkan adanya ekspansi volume sedangkan arang sisa pembakaran tetap berada di dalam reaktor. Penggunaan kata *fixed bed* ini mengacu pada penggunaan katalis yang berada diam atau statis di dasar reaktor. Skematik diagram untuk reaktor pirolisis *fixed bed* dapat dilihat pada gambar 2 diatas.

Katalis ini berfungsi untuk mempercepat laju reaksi tanpa terpengaruh dari reaksi itu sendiri. Cara kerja dari katalis adalah dengan menyimpan panas dari *heater* dan mendistribusikannya pada bahan bakar secara lebih stabil dan merata. Semakin banyak volume katalis maka proses pemanasan dan pembakaran akan semakin maksimal. Pada reaktor pirolisis *fixed bed* sendiri biasanya volume katalis yang digunakan adalah sepertiga dari volume reaktor agar kerja reaktor menjadi efisien.

Pada penelitian ini katalis yang digunakan adalah pasir silika. Pasir silika dipilih karena memiliki pasir ini titik lebur yang sangat tinggi hingga mencapai lebih dari 1000°C [7]. Hal ini menyebabkan pasir silika dapat menyimpan panas yang dihasilkan oleh *heater* dan dapat mendistribusikannya dengan baik.



Gambar 3. Pasir Silika

Untuk menentukan nilai laju konversi bahan bakar/ fuel conversion rate, dapat menggunakan persamaan:

$$FCR = \frac{\text{massa bahan bakar yang digunakan}}{\text{waktu operasional}} \quad (1)$$

3. Metode Penelitian

Di bawah ini merupakan alat dan bahan yang dipergunakan dalam penelitian

3.1. Alat

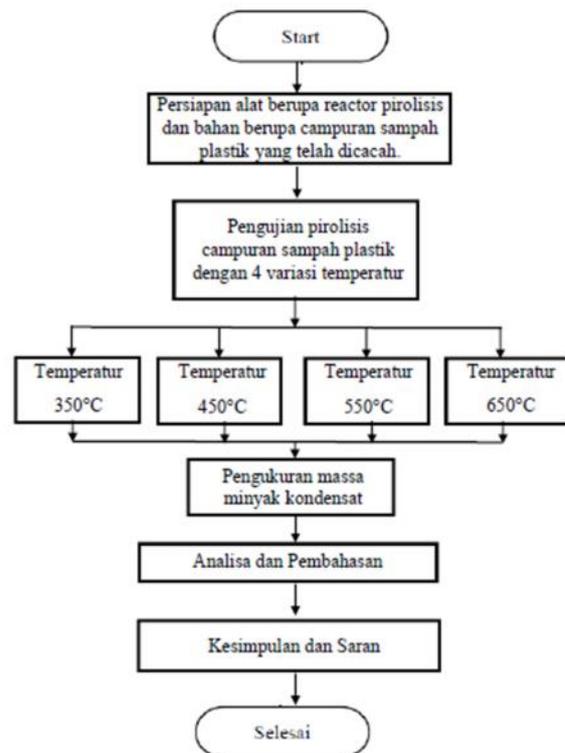
1. Reaktor pirolisis *fixed bed* tempat dimana terjadinya pembakaran dan proses pirolisis.
2. *Heater* sebagai alat pemanas untuk memanaskan reaktor pirolisis.
3. *Thermo control* berfungsi untuk menentukan temperatur heater.
4. *Data logger* berfungsi untuk menghubungkan data dari *thermocouple* ke aplikasi pembaca
5. *Thermocouple* berfungsi merekam data. temperatur yang dihubungkan ke *Thermo control*.

6. Timbangan berfungsi untuk menimbang massa bahan bakar padat dan minyak kondensat.
7. Isolasi (*glasswool*) berfungsi untuk mengoptimalkan proses pemanasan dan juga untuk meminimalisir panas yang terbuang ke lingkungan.
8. *Zahn Cup 2* berfungsi untuk melakukan uji viskositas minyak kondensat.
9. Bom Kalorimeter berfungsi untuk melakukan uji nilai kalor minyak kondensat.
10. pH Meter berfungsi untuk melakukan uji nilai pH minyak kondensat.
11. *Fire Point and Flash Point Tester* berfungsi untuk melakukan uji titik nyala dan titik api minyak kondensat.

3.2. Bahan

Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini campuran sampah plastik dari kemasan air mineral dengan massa 100 g (*polyethylene terephthalate*), Styrofoam dengan massa 100 g (*polystyrene*) dan kresak dengan massa 100 g (*low density polyethylene*), yang sebelumnya sudah terlebih dahulu dicacah sehingga menjadi bentuk cacahan dengan ukuran yang berkisar antara 1 – 2 cm.

3.3. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Hasil Penelitian

Data hasil penelitian ini didapatkan setelah melakukan penelitian serta pengamatan sesuai dengan metodologi di atas yang meliputi massa input

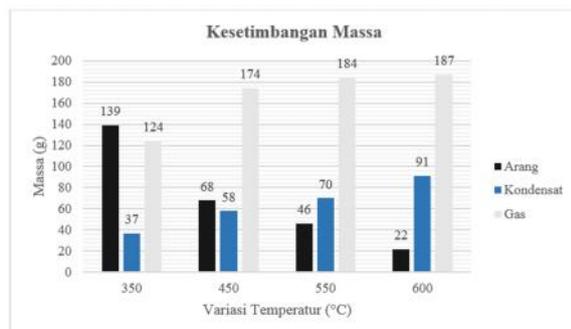
bahan bakar, massa arang, massa kondensat, durasi operasional dan waktu kondensat mulai menetes. Durasi operasional alat pirolisis dimulai sejak heater reaktor dinyalakan hingga kondensat tidak lagi menetes. Massa arang didapatkan dari selisih nilai massa katalis sesudah proses pirolisis dengan katalis sebelum proses pirolisis dilakukan.

Tabel 1. Tabel Data Hasil Penelitian Pirolisis Fixed Bed Pada Sampah Plastik PET, PS, dan LDPE

Variasi Temperatur (°C)	Massa Input Bahan Bakar (g)	Massa Arang (g)	Massa Kondensat (g)	Durasi Operasional (s)	Waktu Kondensat Mulai Menetes (s)
Variasi I (350)	300	139	37	7980	4020
Variasi II (450)	300	68	58	7020	3300
Variasi III (550)	300	46	70	6840	3120
Variasi IV (650)	300	22	91	6480	2880

4.2. Keseimbangan Massa (Mass Balance)

Tujuan dari perhitungan keseimbangan massa sendiri adalah untuk dapat mengetahui jumlah massa yang masuk dan massa yang keluar. Massa keluar sendiri dibagi menjadi tiga yaitu, massa kondensat, massa arang, dan massa gas. Massa gas didapatkan dari memasukan massa input, massa arang, dan massa kondensat. Data keseimbangan massa penelitian ini dapat dilihat gambar 5 di bawah ini:

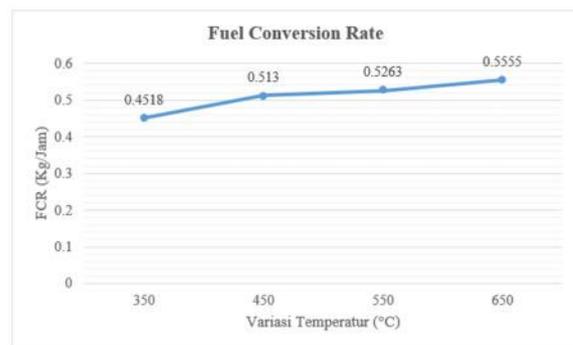


Gambar 5. Grafik Data Keseimbangan Massa

Pada perhitungan keseimbangan massa ini, massa keluar yang tersisa disebut *losses*. *Losses* pada perhitungan di atas merupakan gas yang keluar dari alat pirolisis *fixed bed* dan tidak terkondensasikan menjadi minyak kondensat. Dari perhitungan di atas, *losses* pada variasi I (temperatur 350°C) adalah 124 gram, pada variasi II (temperatur 450°C) adalah sebanyak 174 gram, variasi III (temperatur 550°C) adalah sebanyak 184 gram, dan pada variasi IV (temperatur 650°C) adalah sebanyak 187 gram. Hasil *losses* tertinggi adalah pada variasi IV karena dari pengujian yang dilakukan massa gas yang tidak dapat terkondensasikan paling tinggi.

4.3. Fuel Conversion Rate (FCR)

FCR adalah kemampuan bahan bakar terkonversi menjadi kondensat, gas, dan arang. Dari tabel 1 di atas dapat diketahui massa bahan bakar yang dimasukan dan waktu operasional alat pirolisis *fixed bed*. Maka *fuel conversion rate* (FCR) masing – masing variasi temperatur dapat dihitung. FCR dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1 di atas. Data *fuel conversion rate* pada penelitian ini dapat dilihat dari gambar 6 di bawah ini:

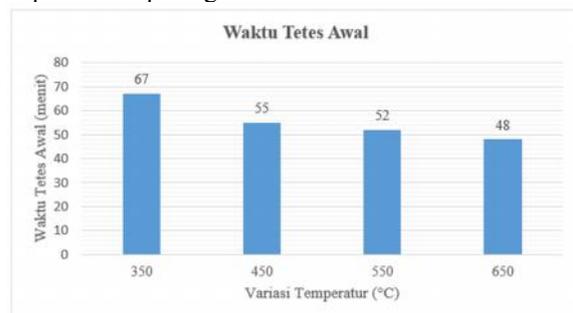


Gambar 6. Grafik Data Fuel Conversion Rate

Pada penelitian ini dapat diketahui perbandingan nilai laju konversi bahan bakar (FCR). Pada pengujian variasi I (temperatur 350°C), nilai laju konversi bahan bakar adalah 0.4518 Kg/Jam. Pada pengujian variasi II (temperatur 450°C), nilai laju konversi bahan bakar adalah 0.5130 Kg/Jam. Pada pengujian variasi III (temperatur 550°C), nilai laju konversi bahan bakar adalah 0.5263 Kg/Jam. Pada pengujian variasi IV (temperatur 650°C), nilai laju konversi bahan bakar adalah 0.5555 Kg/Jam.

4.4. Waktu Tetes Awal

Waktu saat kondensat pertama kali menetes pada masing – masing variasi temperatur berbeda – beda. Tingkat performansi pada proses pirolisis *fixed bed* pada campuran sampah plastik PET, PS, dan LDPE ini dapat dilihat dari waktu tetes awal kondensat dan bahan bakar yang terkonversi menjadi minyak kondensat. Perbandingan waktu tetes awal kondensat dapat dilihat pada gambar 7 di bawah ini:



Gambar 7. Grafik Data Waktu Tetes Awal

Pada penelitian ini dapat dilihat perbandingan waktu tetes awal minyak kondensat. Pada pengujian variasi I (temperatur 350°C), waktu tetes awal minyak kondensat pada menit ke-67. Pengujian variasi II (temperatur 450°C), waktu tetes awal

minyak kondensat pada menit ke-55. Pengujian variasi III (temperatur 550°C), waktu tetes awal minyak kondensat pada menit ke-52. Pengujian variasi IV (temperatur 650°C), waktu tetes awal minyak kondensat pada menit ke-48. Pada waktu tetes awal kondensat yang menjadi acuan perhitungan adalah energi termal yang diberlakukan terhadap bahan bakar campuran sampah plastik PET, PS, dan LDPE. Dari penelitian yang dilakukan diketahui bahwa semakin tinggi energi termal yang diberikan maka semakin cepat proses dekomposisi / pemecahan struktur bahan bakar dan pengkonversian bahan bakar campuran sampah plastik semakin cepat terjadi.

5. Kesimpulan

Berdasarkan seluruh tahapan penelitian yang telah dilakukan selama dua bulan di Fakultas Teknik Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin; dapat ditarik beberapa simpulan pengaruh dari temperatur terhadap campuran limbah plastik PET, PS, dan LDPE yaitu:

1. Massa minyak kondensat tertinggi yaitu pada variasi IV (temperatur 650°C) seberat 91 gram. Sedangkan massa minyak kondensat terendah yaitu pada variasi I (temperatur 350°C) seberat 37 gram. Sehingga semakin tinggi temperatur proses pirolisis maka massa minyak kondensat yang dihasilkan akan semakin besar pula.
2. *Fuel conversion rate* tertinggi yaitu pada variasi IV (temperatur 650°C) sebesar 0.5555 Kg/Jam. Sedangkan *Fuel conversion rate* terendah yaitu pada variasi I (temperatur 350°C) sebesar 0.4518 Kg/Jam. Sehingga semakin tinggi temperatur proses pirolisis maka laju konversi bahan bakarnya akan semakin besar pula.
3. Waktu tetes awal minyak kondensat tercepat yaitu pada variasi IV (temperatur 650°C) pada menit ke-48. Sedangkan waktu tetes awal terendah yaitu pada variasi I (temperatur 350°C) pada menit ke-67. Sehingga semakin tinggi temperatur proses pirolisis maka waktu tetes awal minyak kondensat akan semakin cepat.

Daftar Pustaka

- [1] Saputri, Yunisda Dwi, 2019, *Indonesia Negara Berkembang*, Dikutip dari Liputan6, 11 Juli 2019.
- [2] Kemenperin RI, 2014, *Ketahanan Energi Indonesia Merosot Tajam*, Dikutip dari kemenperin.go.id, 14 Juli 2019.
- [3] Firdaus, Yusra, 2018, *Bahaya Membakar Sampah Bagi Kesehatan*, Dikutip dari hellosehat.com, 14 Juli 2019.
- [4] Ismanto, U. B. S., 2016, *Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya*,

Jurnal Mekanika Dan Sistem Termal, 1(1), pp. 32–37.

- [5] Angkat, R. M., Sigalingging, R., & Daulay, S. B., 2018, *Uji Alat Pirolisis Limbah Polimer Pada Beberapa Jenis Limbah*, 6(3), pp. 526–531.
- [6] Moldoveanu, Serban, 2009, *Pyrolysis of Organic Molecules 1st Editon*, Elsevier Science.
- [7] Budiastawan, Adi, 2018, *Pengaruh Variasi Temperatur Terhadap Karakteristik Kondensat yang Dihasilkan dari Proses Pyrolisis Fixed Bed pada Sampah Daun Janur*, pp. 1-42.

	<p>Stanislaus Hans Wardoyo, Menyelesaikan studi Program Sarjana di Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2016 sampai 2019. Ia menyelesaikan studi dengan topik penelitian Studi Pengaruh Temperatur Pirolisis Fixed Bed Terhadap Campuran Limbah Plastik PET, PS, dan LDPE.</p> <p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik – topik yang berkaitan dengan konversi energi, <i>renewable energy</i>, dan desain.</p>
--	--