

# Usulan Perancangan Reaktor Pirolisis pengubah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak

Zefri Azharman <sup>a,\*</sup>, Delia Meldra <sup>b</sup>, Yopy Mardiansyah <sup>c</sup>, Yan Mahesa Damanik <sup>d</sup>

<sup>abd</sup> Universitas Putera Batam, Batam

<sup>c</sup> Institut Teknologi Batam, Batam

\* zefriazharman91@gmail.com

---

## Abstract

Plastics had been an important role for humans today. Practical and inexpensive food wrappers made plastic the top choice. Plastic wrappers are also more efficient and durable in protecting food from disturbing animals such as flies. In this case, plastic wrap makes it superior to other food wrappers such as paper, and banana leaves. With the advantages of plastic packaging, many food and micro-enterprise companies produce plastic and use it as food packaging. Besides the advantages that are felt in using plastic, there is a considerable impact on the environment. This is because the plastic used as a food wrap is difficult to degrade by soil. Therefore, an alternative is needed in handling plastic waste, such as making plastic conversion tools into fuel. In this study, the aim was to design a plastic garbage converter into fuel using the pyrolysis method. This type of research method is a method of design and construction with a literature study approach. The design of the tool is made by having one tank as a place for heating the plastic and having a cooling channel to convert the gas to be produced into liquid. The iron reactor tank for heating is 200-300°C. In the design also has a maximum temperature gauge of 500°C and a maximum pressure gauge of 2.5 bar (0.25 Mpa). The channel is used to channel hot pyrolysis steam into the filtrate and condensation is carried out. The expected outcome in this proposal is fuel oil.

**Keywords:** Plastic waste, Fuel, Design and development, Pyrolysis, LDPE.

## Abstrak

Plastik memiliki peran yang penting bagi manusia saat ini. Pembungkus makanan yang praktis dan murah menjadikan plastik sebagai pilihan yang utama. Pembungkus plastik juga lebih efisien dan tahan lama dalam melindungi makanan dari hewan pengganggu seperti lalat. Dalam hal ini, pembungkus plastik menjadikannya lebih unggul dari pembungkus makanan lainnya seperti kertas, dan daun pisang. Dengan keunggulan pembungkus plastik tersebut, banyak perusahaan makanan dan usaha mikro yang memproduksi plastik dan menggunakannya sebagai pembungkus makanan. Disamping keunggulan yang dirasakan dalam menggunakan plastik, terdapat dampak yang cukup besar terhadap lingkungan. Hal ini dikarenakan plastik yang digunakan sebagai pembungkus makanan sulit untuk didegradasi oleh tanah. Oleh karena itu, diperlukan alternatif dalam penanganan sampah plastik, seperti membuat alat konversi plastik menjadi bahan bakar. Dalam penelitian ini bertujuan merancang alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar dengan menggunakan metode pirolisis. Jenis metode penelitian ini adalah metode perancangan dan pengembangan dengan pendekatan studi literatur. Perancangan alat dibuat dengan memiliki satu tangki sebagai tempat pemanasan plastik, dan memiliki saluran pendingin untuk mengubah gas yang akan dihasilkan menjadi cair. Tangki reaktor berbahan besi untuk tahan pemanasan 300°C-500°C. Dalam desain juga memiliki pengukur temperatur suhu maksimal 500°C dan pengukur tekanan maksimal 2,5 bar (0,25 mPa). Saluran digunakan untuk menyalurkan uap panas hasil pirolisis ke dalam filtrat dan dilakukan kondensasi. Hasil yang diharapkan dalam usulan ini adalah bahan bakar minyak.

**Kata Kunci:** Sampah plastik, Bahan Bakar, Perancangan dan pengembangan, Pirolisis, LDPE.

---

## 1. Pendahuluan

Plastik memiliki peran yang sangat penting bagi manusia saat ini. Pembungkus makanan yang praktis dan murah menjadikan plastik sebagai pilihan yang utama. Hampir semua jajanan maupun kemasan dibungkus dengan bahan yang terbuat dari plastik. Pembungkus plastik juga lebih efisien dan tahan lama dalam

melindungi makanan dari hewan pengganggu seperti lalat. Berdasarkan hal ini, pembungkus plastik menjadikannya lebih unggul dari pembungkus makanan lainnya seperti kertas, dan daun pisang. Dengan keunggulan pembungkus plastik tersebut, banyak perusahaan makanan dan usaha mikro yang

memproduksi plastik dan menggunakannya sebagai pembungkus makanan.

Keunggulan yang dirasakan dalam menggunakan plastik, ternyata plastik juga memiliki dampak yang negatif terhadap lingkungan (Filho et al., 2019). Sifat plastik yang sulit untuk didegradasi oleh tanah menyebabkan sampah plastik tidak bisa terurai secara alami.

Imbauan mengenai penanganan terhadap sampah plastik telah dilakukan oleh pemerintah yang tertuang pada undang-undang nomor 18 tahun 2018 tentang pengelolaan sampah. Penyelenggaraan terhadap pengelolaan sampah diperlukan, serta adanya imbauan terhadap pengurangan sampah dan penanganan sampah rumah tangga yang tertuang pada pasal 19 uu no.18 tahun 2018 tersebut.

Pengurangan sampah yang dimaksudkan adalah melakukan pembatasan terhadap timbulnya sampah, melakukan daur ulang sampah dan memanfaatkan sampah kembali. sedangkan yang dimaksud dalam penanganan sampah adalah pertama melakukan pemilahan jenis sampah, kedua melakukan pengumpulan sampah yang kemudian di pindahkan ke tempat penampungan sampah (TPA), ketiga melakukan pengangkutan ke tempat pemrosesan akhir, keempat mengolah sampah dalam bentuk mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah, kelima memrosesan sampah dalam bentuk pengembalian sampah atau residu hasil pengolahan ke media lingkungan secara aman.

Dalam penelitian ini bertujuan mengusulkan rancangan alat pengubah sampah plastik menjadi bahan bakar dengan menggunakan metode pirolisis. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah menetapkan spesifikasi alat pengubah sampah plastik, dan menyusun konsep desain alat pengubah sampah plastik.

## 2. Kajian Literatur

### 2.1. Bahan Plastik

Bahan plastik terus berkembang dan menjadi bagian yang erat dari kehidupan sehari-hari manusia, mulai dari perlengkapan rumah tangga, mainan anak, perlengkapan kantor, alat tulis, semuanya tidak terlepas dari campuran bahan plastik. Plastik adalah salah satu polimer sintesis yang memiliki sifat unik dan luar biasa. Polimer alam yang biasa dikenal yaitu selulosa, protein, karet alam dan banyak lainnya. Polimer alam mulai digunakan sebagai perkakas dan senjata hingga abad ke 19. Polimer alam mulai dimodifikasi menjadi polimer sintesis yang disebut plastik. Plastik pertama yang dibuat secara komersial adalah nitroselulosa. Saat ini plastik telah berkembang pesat dan digunakan diberbagai bidang

kehidupan termasuk dalam dunia elektronika, pertanian, tekstil, transportasi, bahkan kosmetik.

Secara garis besar, plastik dapat dikelompokkan menjadi dua golongan, yaitu plastik thermoplast dan plastik termoset. Plastik thermoplast adalah plastik yang dapat melunak jika dipanaskan dan dapat dibentuk sesuai keinginan. Sedangkan termoset adalah plastik apabila sudah dibentuk menjadi wujud padat, tidak dapat dicairkan kembali walau telah dilakukan pemanasan. Berdasarkan sifat kedua kelompok plastik tersebut, jenis yang memungkinkan untuk didaur ulang adalah termoplastik. Jenis termoplastik yang dapat didaur ulang disimbolkan dengan kode berupa angka yang diposisikan biasanya dibawah produk tersebut. Fungsi kode adalah untuk memudahkan dalam mengidentifikasi dan penggunaannya (Surono, 2013).

### 2.2. Pirolisis

Proses Pirolisis adalah proses mengkonversi sampah plastik menjadi bahan petrokimia dasar yang dapat digunakan menjadi bahan baku hidrokarbon atau bahan bakar (Naimah & Aidha, 2017). Proses pirolisis disebut juga proses dekomposisi kimia material organik tanpa udara. Parameter yang berpengaruh pada kecepatan reaksi pirolisis mempunyai hubungan yang sangat kompleks, sehingga model matematis persamaan kecepatan reaksi pirolisis yang diformulasikan oleh setiap peneliti selalu menunjukkan rumusan empiris yang berbeda. Jika dilihat dari berbagai sisi, proses pirolisis memiliki banyak keuntungan. Dari segi lingkungan, proses pirolisis dapat mengurangi volume sampah plastik yang memang sudah menjadi permasalahan selama ini, serta menghasilkan sumber bahan bakar alternatif sebagai solusi permasalahan krisis energi saat ini (Ulrich & Eppinger, 2001).

### 2.3. Konversi Sampah Plastik menjadi Minyak

Sampah plastik yang diolah menjadi minyak, dapat dihasilkan dari pengolahan sampah plastik dengan mempertimbangkan beberapa parameter antara lain jenis plastik yang diolah, temperatur proses, penggunaan katalis dan jenis katalis yang digunakan. Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan pada proses konversi sampah plastik menjadi minyak, dapat dikelompokkan sebagai berikut (Surono, 2013):

- (1) Jenis sampah plastik polietilene atau dikenal dengan pilipropilene dapat diolah dengan proses hydrocracking. Proses ini dibantu dengan penambahan katalis menjadi hidrokarbon rantai pendek atau sekelas bensin.
- (2) Jenis sampah plastik LDPE dikonversi dengan thermal cracking tanpa adanya

penambahan katalis akan menghasilkan minyak hidrokarbon lebih panjang atau setara dengan kerosin.

- (3) Jenis sampah plastik yang berasal dari Campuran plastik PE dan PP yang dikonversi dengan proses dengan thermo cracking pada temperatur 450 °C yang dilakukan selama 2 jam dan selanjutnya dikondensasikan pada temperatur 21 °C akan menghasilkan minyak dengan rantai hidrokarbon C12 – C 17 yang mempunyai jumlah atom Carbon yang setara dengan solar.
- (4) Jenis sampah plastik LDPE yang dikonversikan dengan thermal cracking yang dikombinasikan dengan catalytic cracking akan menghasilkan jumlah minyak yang optimal pada temperatur pyrolisis 550 °C, dimana perbandingan katalis/sampah plastik adalah 1 : 4.

#### 2.4. Pengembangan Konsep

Dalam melakukan pengembangan terhadap konsep suatu produk diperlukan beberapa tahapan yaitu (Ulrich & Eppinger, 2001):

- (1) Identifikasi Kebutuhan  
Dalam tahapan ini dilakukan untuk memahami kebutuhan dan mengkomunikasikannya secara efektif terhadap suatu konsep pengembangan produk kepada tim pengembang.
- (2) Penetapan spesifikasi target  
Sepesifikasi produk memberikan informasi bagaimana suatu produk bekerja. Hal ini didapatkan dari identifikasi kebutuhan yang telah dilakukan.
- (3) Penyusunan konsep  
Penyusunan konsep mencakup dari gabungan penelitian-penelitian yang bertujuan memecahkan secara kreatif oleh tim pengembang.
- (4) Pemilihan konsep  
Kegiatan pemilihan konsep dilakukan ketika didapatkan beberapa konsep, yang kemudian dianalisis untuk dieliminasi secara berurutan, sehingga didapatkan konsep yang menjanjikan.
- (5) Pengujian konsep  
Pengujian konsep merupakan kegiatan yang dilakukan untuk uji konsep melalui pemodelan secara teknis agar mendapatkan spesifikasi akhir.
- (6) Penentuan spesifikasi akhir  
Spesifikasi final yang telah dipilih dan diuji secara konsep oleh tim pengembang melalui pemodelan secara teknis.
- (7) Perencanaan proyek  
Kegiatan yang membuat jadwal pengembangan secara rinci dan mengidentifikasi daya yang digunakan untuk pengembangan oleh tim pengembang,

dimana tercatat secara rinci dalam perjanjian yang dikenal dengan buku kontrak.

- (8) Analisis ekonomi  
Hal ini menganalisis biaya manufaktur dan biaya pengembangan untuk keberlanjutan dalam program pengembangan dalam segi ekonomi.
- (9) Analisa produk-produk pesaing  
Perlu dilakukan analisa produk pesaing untuk menentukan posisi produk baru jika dilakukan produksi secara komersial.
- (10) Pemodelan dan pembuatan prototipe  
Kegiatan ini membantu tim pengembang dalam mengetahui kelayakan suatu produk dalam suatu model pembuktian konsep yang telah ditetapkan.

#### 2.5 Penelitian Terdahulu

Karakteristik Gas Hasil Proses Pirolisis Limbah Plastik Polietilena (PE) Dengan Menggunakan Katalis Residue Catalytic Cracking (RCC). Dalam Penelitian ini dilakukan perbandingan karakteristik gas yang dihasilkan pada proses pirolisis limbah plastik polietilena (PE) dengan variabel konsentrasi menggunakan katalis Residue Catalytic Cracking (RCC). proses yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan reaktor pirolisis berkapasitas 5 kg dan dilakukan penambahan katalis RCC sebagai variabel penelitian. Gas hasil reaktor ditampung dalam gas sampler dan diukur flowrate. Karakteristik gas yang diperoleh lalu dikarakterisasi dengan menggunakan GC System. Variabel konsentrasi katalis yang divariasikan pada penelitian ini adalah 7,5%, 10%, 12,5%, 15%, dan 17,5% dari bahan baku. Penambahan konsentrasi katalis sebesar 10% dari bahan baku dideteksi adanya campuran propana dan butana sebesar 35,6%, etana 12,1%, dan pentana 5,2%. sedangkan gas pengotor yang dihasilkan dari proses penelitian ini yaitu gas CO dan CO<sub>2</sub> rendah yaitu sebesar 0% dan 0,2%. Pengukuran flowrate gas memperlihatkan bahwa semakin besar konsentrasi suatu katalis, maka waktu proses yang dibutuhkan untuk mendapatkan gas semakin cepat (Naimah & Aidha, 2017).

Pada Penelitian "*Influence of temperature and reaction time on the conversion of polystyrene waste to pyrolysis liquid oil*", bertujuan untuk menyelidiki pengaruh suhu dan waktu reaksi terhadap hasil dan kualitas minyak cair yang dihasilkan dari proses pirolisis. Limbah plastik jenis Polystyrene (PS) digunakan sebagai bahan baku dalam reaktor pirolisis batch skala kecil. Pada 400°C dengan waktu reaksi 75 menit, hasil gas adalah 8% menurut massa, hasil arang adalah 16% menurut massa, sedangkan hasil minyak cair

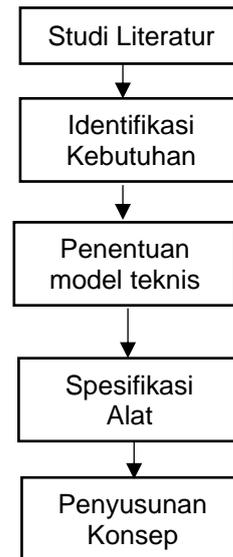
adalah 76% menurut massa. Menaikkan suhu menjadi 450°C meningkatkan produksi gas hingga 13% menurut massa, mengurangi produksi arang menjadi 6,2% dan meningkatkan hasil minyak cair menjadi 80,8% menurut massa. Suhu optimum dan waktu reaksi ditemukan 450°C dan 75 menit. Minyak cair pada kondisi optimal memiliki viskositas dinamis 1,77 mPa s, viskositas kinematik 1,92 cSt, kepadatan 0,92 g / cm<sup>3</sup>, titik tuang -60 ° C, titik beku -64 ° C, titik nyala 30,2 ° C dan nilai kalor tinggi (HHV) 41,6 MJ / kg ini mirip dengan diesel konvensional. Kromatografi gas dengan analisis spektrofotometri massa (GC-MS) menunjukkan bahwa minyak cair terutama mengandung senyawa stirena (48%), toluena (26%) dan etil-benzena (21%) (R.Miandad et al., 2016).

Inisiator Azobisisobutyronitrile (AIBN) digunakan dalam pengobatan plastik domestik yang paling banyak digunakan sebagai pengganti katalis. Pirolisis low-density polyethylene (LDPE), high-density polyethylene (HDPE), polypropylene (PP), poly-ethylene terephthalate (PET) dan plastik polystyrene (PS) dengan azobisisobutyronitrile dilakukan secara individual di bawah atmosfer nitrogen. Serangkaian reaksi tunggal (plastik / AIBN) dan biner (plastik campuran / AIBN) dilakukan dalam reaktor mikro-autoklaf 25-cm<sup>3</sup>. Kondisi optimal yang dipilih untuk penelitian ini adalah: AIBN 5% berat total plastik, 60 menit, 650 psi dan 420 ° C. Ditemukan bahwa HDPE, LDPE, PP mengalami perengkahan maksimum dan menghasilkan jumlah cairan dan produk gas yang tertinggi. Pirolisis plastik PET dan PS dengan AIBN menghasilkan bahan organik yang tidak larut dalam jumlah yang signifikan. Dalam reaksi lain, rasio tetap dari plastik campuran dibirolisis dengan AIBN yang memberikan hasil hidrokarbon cair yang sangat baik. Hasil ini menunjukkan peningkatan yang sangat signifikan dalam porsi cairan produk pada penggunaan AIBN dalam pirolisis plastik. Penggunaan AIBN dalam pirolisis plastik tampaknya layak dan merupakan alternatif ramah lingkungan untuk proses katalitik untuk memaksimalkan bahan bakar cair atau stok umpan bahan kimia dalam jumlah yang lebih tinggi (NahidSiddiqui, 2009).

### 3. Metode Penelitian

Adapun metode dalam penelitian ini ialah metode perancangan dan pengembangan produk dengan pendekatan studi literatur. Tahap awal yaitu identifikasi kebutuhan terhadap alat pengubah plastik dengan dibuatkan tabel kebutuhan kebutuhan dan teknis untuk menetapkan spesifikasi alat yang akan dibuat. Tahap terakhir adalah penyusunan konsep alat pengubah plastik

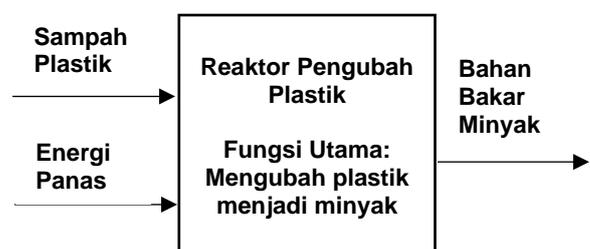
menjadi bahan bakar minyak. Untuk kerangka fungsi terhadap alat dapat digambar pada gambar 2.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Keterangan:

- (1) Studi literatur  
Dalam tahapan ini dilakukan pencarian referensi yang terkait alat pengubahan plastih dan karakteristik plastik untuk menentukan spesifikasi kebutuhan terhadap alat/reaktor.
- (2) Identifikasi kebutuhan  
Tahapan lanjutan dari studi literatur, yaitu memilih referensi yang berhubungan terhadap alat/reaktor dan selanjutnya diinterpretasikan sebagai kebutuhan alat/reaktor.
- (3) Penentuan model teknis  
Penentuan model teknis adalah cara dalam memenuhi interpretasi kebutuhan yang telah ditetapkan.
- (4) Spesifikasi Alat  
Setelah dilakukan penentuan model teknis maka dapat ditentukan spesifikasi alat yang kemudian dijadikan aran dalam rancang bangun alat/reaktor.
- (5) Penyusunan konsep  
Pada tahapan ini dibuat sebuah konsep berupa gambar rancangan terhadap alat/reaktor yang memenuhi spesifikasi alat yang telah ditetapkan.



Gambar 2. Block Fungsi Alat

**4. Hasil dan Pembahasan**

**4.1. Hasil**

Plastik jenis *Polypropylene* (PP) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE) yang diubah menjadi minyak akan terbentuk dari reaktor *batch* pada suhu 300-450°C. Berdasarkan kenaikan suhu diperoleh semakin tinggi suhu maka semakin banyak minyak yang terbentuk (Endang, Mukhtar, Nego, & Sugiyana, 2016). Dalam proses konversi plastik menjadi minyak dengan metode pirolisis biasanya dilakukan pada suhu 350°C – 900°C (Surono, 2013). Oleh karena itu, diperlukan bahan yang tahan terhadap panas. Adapun identifikasi yang diperlukan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Identifikasi Kebutuhan Reaktor Pengubah Plastik

No.	Interpretasi kebutuhan berdasarkan literatur
1	Reaktor dapat menahan panas 300-500°C
2	Reaktor dapat memberikan informasi temperatur yang dialami
3	Reaktor dapat memberikan informasi tekanan yang dialami
4	Reaktor memiliki saluran yang dapat mengalirkan uap panas
5	Reaktor memiliki kondensor yang dapat mendinginkan

**4.2. Pembahasan**

(1) Penentuan Teknis Reaktor Pengubah Plastik

Berdasarkan interpretasi kebutuhan alat dapat dibuat teknis reaktor sebagai berikut:

Tabel 2. Teknis Reaktor Pengubah Plastik

No.	Teknis
1	Tanki Besi
2	Temperature gauge
3	Pressure gauge
4	Saluran pipa besi
5	Bejana pendingin

(2) Menggambarkan matriks kebutuhan dan teknis pengubah plastik

	Tanki Besi	Temperature gauge	Pressure Gauge	Saluran Pipa Besi	Bejana Pendingin
Tahan panas 300-500°C	•			•	
Informasi temperatur yang dialami		•			
Informasi tekanan yang dialami			•		
Saluran yang tahan terhadap panas				•	
Kondensor yang dapat mendinginkan					•

Gambar 3. Matriks Kebutuhan dan teknis pengubahan plastik

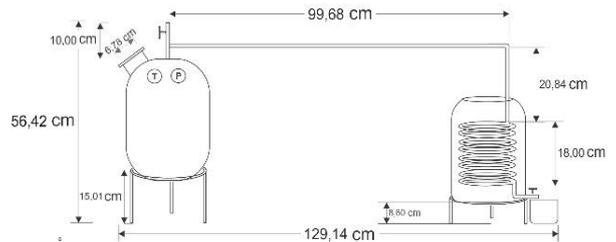
(3) Penentuan Spesifikasi Reaktor Pengubah Plastik

Tabel 4. Spesifikasi Reaktor Pengubah Plastik

Model Teknis	Satuan	Nilai
Tanki Besi	cm <sup>3</sup>	>16.000
Temperature gauge	°C	500
Pressure gauge	bar	2,5
Saluran pipa besi	m	3
Bejana pendingin	dm <sup>3</sup>	10

(4) Penyusunan konsep

Berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan maka dapat digambarkan penyusunan konsep sebagai berikut.



Gambar 4. Rancangan Reaktor Pengubah Plastik

Hasil rancangan alat pengubah sampah plastik memiliki dimensi dengan dimensi 129,14 cm x 56,42 cm, yang terdiri dari beberapa bagian utama yaitu rangka unit masukan material, unit reaktor, unit penyaluran gas, unit pendingin (kondensor), dan unit tempat hasil konversi. Rangka unit reaktor berasal dari tabung tangki yang dimodifikasi menyatukan dengan dudukan unit masukan material serta ditambahkan pengukur temperatur dan tekanan. Pengukur temperatur suhu maksimal 500°C dan pengukur tekanan makasimal 2,5 bar (0,25 Mpa). Tangki reaktor berbahan besi untuk tahan pemanasan 300°C-500°C. Unit katup (kran) pembuangan uap air disatukankan dibagian atas tanki reaktor. unit penyaluran gas dibuat dari pipa besi dengan diameter 1 inch panjang 3 meter yang dibuat melingkar pada bagian ¾ dari panjang pipa. Unit pendingin dibuat dari bahan polimer (seperti ember). Hasil rancangan ini dapat digunakan untuk unit pemanas/pembakar yang berasal dari kompor gas elpiji dan bahan bakar kayu. Hasil rancangan dapat dilihat pada gambar 4. Hasil yang diharapkan dalam usulan ini adalah bahan bakar minyak.

**5. Kesimpulan dan Saran**

**5.1. Kesimpulan**

Adapun kesimpulan dalam penelitian adalah perancangan alat dibuat dengan memiliki satu tangki sebagai tempat pemanasan plastik, dan memiliki saluran pendingin untuk mengubah gas yang akan dihasilkan menjadi cair. Tangki

reaktor berbahan besi untuk tahan pemanasan 200-300°C. Pada desain alat juga memiliki pengukur temperatur suhu maksimal 500°C dan pengukur tekanan maksimal 2,5 bar (0,25 Mpa). Saluran digunakan untuk menyalurkan uap panas hasil pirolisis ke dalam filtrat dan dilakukan kondensasi. Hasil yang diharapkan dalam usulan perancangan reaktor ini adalah bahan bakar minyak.

## 5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah diperlukan pembuatan prototipe dan pengujian terhadap desain alat/reaktor.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM Direktorat Jendral penguat Riset dan Pengembangan ristekdikti. Penelitian penulis didanai oleh Hibah Penelitian Dosen Pemula DRPM Dikti tahun 2018. Selanjutnya terima kasih kepada LPPM Universitas Putera Batam yang membantu dan mendukung proses dalam penelitian ini.

## Daftar Pustaka

- Dandang, K., Mukhtar, G., Nego, A., & Sugiyana, F. X. A. (2016). Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan" Pengembangan Teknologi Kimia Untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, 1–7.
- Filho, W. L., Saari, U., Fedoruk, M., Iital, A., Moora, H., Klöga, M., & Voronova, V. (2019). An overview of the problems posed by plastic products and the role of extended producer responsibility in Europe. *Journal of Cleaner Production*, 214(20 March 2019), 550–558. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.256>
- NahidSiddiqui, M. (2009). Conversion of hazardous plastic wastes into useful chemical products. *Journal of Hazardous Materials*, 167(August), 728–735.
- Naimah, S., & Aidha, N. (2017). KARAKTERISTIK GAS HASIL PROSES PIROLISIS LIMBAH PLASTIK POLIETILENA ( PE ) DENGAN MENGGUNAKAN KATALIS RESIDUE CATALYTIC CRACKING ( RCC ). *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, 39(1), 31–38.
- R.Miandad, A.S.Nizami, M.Rehan, M.A.Barakat, M.I.Khan, A.Mustafa, ... J.D.Murphy. (2016). Influence of temperature and reaction time on the conversion of polystyrene waste to pyrolysis liquid oil. *Waste Management*, 58(December), 250–259.
- Surono, U. B. (2013). Berbagai Metode Konversi Sampah Plastik menjadi Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Teknik*, 3(April 2013), 32–40.
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2001). *Perancangan dan Pengembangan Produk* (Pertama). Jakarta: Salemba Teknika.