

# Analisis Kalor Pada Alat Pengolah Sampah Plastik Dengan Metode Pyrolysis Dengan Perbandingan Tipe Sampah Plastik

\*<sup>1</sup>Ahmad yunus Nasution, <sup>2</sup>Damar yusuf, & <sup>3</sup>Eko Julianto

<sup>12</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta  
Jalan Cempaka Putih no 27 Jakarta Pusat 10510

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Pontianak, Jl. Ahmad Yani No. 111 –  
Pontianak, Kalimantan Barat 78124, Telp. 0561-764571

\*Email : [ahmad.yunus@ftumj.ac.id](mailto:ahmad.yunus@ftumj.ac.id) & [damaryusuf1234@gmail.com](mailto:damaryusuf1234@gmail.com)

---

## Abstrak

Di era yang serba modern ini, penggunaan plastik sangat banyak di masyarakat, hal ini saja membuat sampah plastik menumpuk. Dan sifat sampah plastik yang memiliki sifat yang sulit terurai bahkan membutuhkan waktu ratusan tahun, hal ini pula yang membuat sampah plastik menumpuk. Dari banyaknya plastik yang menabahnya seperti bahan plastik yang hanya bisa digunakan dan dibuang misalnya adalah botol air mineral, kantong plastik atau plastik pembungkus makanan dan jenis sampah sterofom ini yang paling banyak digunakan dan paling banyak menjadi tumpukan sampah pengumpulan. Proses analisis plastik yang akan diolah dengan metode pirolisis adalah sampah yang kategorinya adalah sampah plastik berbahan vinyl chloride, polyethylene, acrylic, silicone, urethane, yang sebagian besar dapat kita jumpai sebagai kemasan makanan atau peralatan plastik rumah tangga. Perbandingan sampah plastik tipe pertama tipe 1: Polyethylene Terephthalate (PET atau PETE atau Polyester) dan tipe 2: High Density Polyethylene (HDPE), dengan perbandingan jumlah sampah plastik 1: 1. Hasil dari penelitian ini memperoleh data Data diperoleh dari percobaan PET & HDPE diperoleh minyak dan panas yang diperoleh dari percobaan 1 sampai 5. Pada percobaan pertama diperoleh minyak sebesar 0,15 Liter dan Kalor untuk penguapan material adalah 2829,78 kJ. Pada percobaan kedua didapatkan minyak sebesar 0,74 Liter dan Kalor untuk penguapan material 2829,78 kJ. Pada percobaan Kelima diperoleh minyak 0,5 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 4477,5 KJ.

**Kata kunci:** Pyrolysis, Heat Analysis , PET, HDPE, LDPE, PS, Shell and tube.

---

## Abstract

*In this modern era, the use of plastic is very much in the community, this alone makes the accumulation of plastic waste. And the nature of plastic waste has properties that are difficult to decompose and even need hundreds of years, this is also what makes the accumulation of plastic waste. Of the menabahnya amount of plastic such as plastic materials that can only be used and thrown for example are mineral water bottles, plastic bags or plastic food wrappers and This type of sterofom waste is the most widely used and most piles of garbage collection. In my analysis process the plastic that will be processed using the pyrolysis method is rubbish whose category is plastic waste made from vinyl chloride, polyethylene, acrylic, silicone, urethane , which we can find most of its use as food packaging or household plastic appliances. Comparison of the first plastic garbage type of type 1: Polyethylene Terephthalate (PET or PETE or Polyester) and type 2: High Density Polyethylene (HDPE) , with the amount of plastic waste ratio of 1: 1. Results from this study obtain data Data obtained from PET & HDPE experiments*

obtained oil and heat obtained from experiments 1 to 5. On The first experiment oil obtained was 0.15 Liters and Heat for evaporation of material was 2829.78 kJ. On The Second experiment oils obtained were 0.74 Liters and Heat for the evaporation of material 2829.78 kJ . On The Fifth experiment oils obtained were 0.5 Liters and Heat for the evaporation of ingredients 4477.5 KJ.

**Hak Cipta © 2020 Pusat Penerbitan Ilmiah UM Pontianak - Hak cipta dilindungi undang-undang.**

**Keywords:** Pyrolysis, Heat Analysis , PET, HDPE, LDPE, PS, Shell and tube.

*Terkirim: 29 September 2020. Direvisi: 2 Oktober 2020. Diterima: 19 Oktober 2020*

---

## I. Pendahuluan

Dijaman modern ini penggunaan plastik sangat banyak dimasyarakat , saja hal ini membuat menumpuknya sampah plastik . Dan sifat sampah plastik memiliki sifat yang susah terurai bahkan butuh ratusan tahun , hal ini pulalah yang membuat penumpukan sampah plastik .Dari menambahnya jumlah plastik seperti bahan plastik yang hanya bisa sekali pakai dan dibuang contohnya adalah botol air mineral , kantong keresek atau plastik bungkus makanan dan sterofom jenis sampah ini lah yang paling banyak digunakan dan paling banyak menumpuk dipenampungan sampah.

Data yang didapat dari [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id) produksi sampah per hari di ibu kota provinsi seluruh Indonesia tahun 2016-2017. Tahun 2017, produksi sampah per hari yang cukup tinggi terjadi di Pulau Jawa, antara lain Surabaya menghasilkan sampah 9.896,78 m<sup>3</sup> per hari dan Jakarta menghasilkan sampah sebanyak 7.164,53 m<sup>3</sup>, sedangkan di luar Pulau Jawa, antara lain Makasar menghasilkan 6.485,65 m<sup>3</sup> per hari selanjutnya Denpasar, Manado, dan Medan secara berurutan menghasilkan sampah 3.657,20 ; 2.064,00 ; dan 1.892,00 m<sup>3</sup> per hari.

Plastik merupakan senyawa organik yang sangat mudah dibentuk, punya rantai yang sangat panjang karena dibentuk dari polimerisasi bahan organik dan punya berat molekul yang sangat besar. Plastik terbuat dari karbon, hidrogen dan atom – atom lainnya yang terikat dalam rantai molekul panjang yang disebut polimer. Plastik tidak ditemukan di alam, tetapi dibuat dari produk – produk batubara, minyak bumi, katun, kayu gas, garam dan air. Plastik digunakan untuk membuat berbagai macam materi, termasuk perabot, komputer dan mainan. Plastik sangat berguna karena kuat, ringan dan tahan terhadap panas dan bahan kimia dibandingkan banyak materi lain.

Dalam penerapan pengurangan sampah secara *Recycle*, berupa penelitian yang membuat “Rancang bangun mesin daur ulang limbah botol plastik *HDPE* menjadi gagang pintu kapasitas 1 kg/jam” yang disusun oleh : Alvin Chaerudin (2018). Dan juga penelitian yang membuat “Rancang bangun mesin *chruser* limbah sampah plastik untuk proses *pirolisis* kapasitas 120 kg/jam” yang disusun oleh : M. Akhsan faizin (2017). Dan masih banyak yang lainnya.

Dalam proses analisa saya plastik yang akan diolah menggunakan metode pirolisis adalah sampah yang kategorinya adalah sampah plastik yang berbahan peyusun *vinyl chloride, polyethylene, acrylic, silicone, urethane*, yang dapat kita temui sebagian besar penggunaannya sebagai kemasan bahan pangan ataupun peralatan plastik rumah tangga. Perbandingan tipe sampah plastik pertama tipe 1 : *Polyethylene Terephthalate (PET or PETE or Polyester)* dan tipe 2 : *High Density Polyethylene (HDPE)* ,dengan jumlah perbandingan sampah plastik 1:1. Perbandingan ke-dua tipe 1 : *Polyethylene Terephthalate (PET or PETE or Polyester)* dan tipe 4 : *Low Density Polyethylene (LDPE)*, dengan jumlah perbandingan

sampah plastik 1:1. Perbandingan ke-tiga tipe 1 : *Polyethylene Terephthalate (PET or PETE or Polyester)* dan tipe 6 : *Polystyrene (PS)* , dengan jumlah perbandingan sampah plastik 1:1.

Dengan menghasilkan hidrokarbon cair, sampah plastik yang di pirolisis nantinya dapat digunakan sebagai bahan bakar kompor minyak , dan menggantikan kompor gas LPG , serta dapat mendaur ulang sampah menjadi BBM kompor minyak plastik. Dari persoalan ini maka penulis membuat penelitian berjudul “ANALISIS KALOR PADA ALAT PENGOLAH SAMPAH PLASTIK DENGAN METODE *PYROLYSIS* DENGAN PERBANDINGAN TIPE SAMPAH PLASTIK ”.

## II. STUDI LITERATUR

### II.1 Tinjauan Pustaka

Pirolisis merupakan salah satu pengolahan sampah yang dapat mengurangi berat dan volume sampah, serta menghasilkan produk yang lain, antara lain: (I) gas yang mengandung nilai kalori rendah hingga sedang, sehingga dapat digunakan untuk bahan bakar alternatif; (II) char/residu hasil pembakaran sampah yang mengandung nilai kalori tinggi, dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif; (III) wax yang dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif dan merupakan sumber dari bahan kimia, selain itu juga proses tersebut akan menghasilkan air yang mengandung bahan organik . ( Qonita Rachmawati, Dkk. 2015)

Penelitian yang dilakukan oleh (Yuspian Gunawan, Dkk . 2018 ) dengan judul “Energi terbarukan dari sampah plastik di tpa puuwatu dengan memanfaatkan teknologi pirolisis guna mendukung masyarakat mandiri energi di kota kendari” yang membahas tentang Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui berapa banyak minyak pirolisis yang dihasilkan dari jumlah sampah anorganik (plastik) Kota Kendari yang diproduksi. Jenis plastik yang digunakan atau yang menjadi objek penelitian adalah PET (Polyethylene Terephthalate), HDPE (High Density Polyethylene), LDPE (Low Density Polyethylene), dan PP ( Poly Propylene). Metode yang dilakukan adalah pirolisis dengan suhu pembakaran 400<sup>0</sup>C. plastik jenis PP dipilih kantong kresek, jenis HDPE dipilih botol oli, jenis PET dipilih botol aqua, jenis LDPE dipilih plastik kemasan untuk tempat makanan. Masing-masing jenis plastik digunakan 500 gram untuk tiap pembakaran. Tiap jenis plastik dilakukan 3 kali percobaan. Panas pembakaran memanfaatkan gas metan dari pengolahan sampah organik. Hasil penelitian menunjukkan jumlah minyak pirolisis yang dihasilkan dari sampah plastik (empat jenis plastik) adalah jenis PP tiap 500 gram menghasilkan 470 mili liter, jenis HDPE menghasilkan 412 mili liter tiap 500 gramnya, Jenis PET menghasilkan 436 mili liter per 500 gram sampah plastik, LDPE menghasilkan 375 mili liter tiap 500 gram sampah plastik yang telah dicacah.

Penelitian yang dilakukan oleh (Rudy Yoga Lesmana, Dkk . 2019 ) dengan judul “Sampah Plastik Sebagai Potensi dalam Pembuatan Bahan Bakar Minyak” yang membahas tentang Kuantitas limbah plastik saat ini memang sangat sulit untuk dikelola. Salah satu solusi untuk mengurangi pertumbuhan sampah plastik yaitu dengan membuatnya menjadi bahan bakar alternatif, yaitu minyak mentah. Tujuan Penelitian ini adalah untuk menciptakan minyak mentah sebagai energi alternatif dari sampah plastik dan untuk membandingkan kuantitas minyak hasil olahan sampah plastik berjenis PE dan PET dengan bahan bakar konvensional. Metodologi penelitian antara lain mengumpulkan sampel berupa sampah plastik yang berbahan baku PP, PE dan PET melakukan pembuatan reaktor dan mengolah sampel menjadi minyak mentah, melihat kuantitas minyak mentah hasil olahan, melakukan pengujian nilai kalor minyak mentah hasil olahan berdasarkan bahan baku plastik, dan melakukan perbandingan nilai kalor minyak mentah

hasil olahan dengan bahan bakar konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa minyak dari plastik kuantitas minyak hasil olahan dari PE dan PET yaitu sebanyak 425 ml dan PET tidak menghasilkan minyak, dan hanya menghasilkan serbuk berwarna putih.

Penelitian yang dilakukan oleh (Arif Setyo Nugroho, Dkk. 2018) dengan judul “Pemanfaatan limbah plastik sebagai energy alternatif” yang membahas tentang Pyrolysis pada suhu rendah plastik PP akan menghasilkan minyak sedikit. Plastik PP memiliki struktur ikatan kristal teratur, lebih sulit terdekomposisi jika dibandingkan dengan plastik PE yang memiliki struktur rantai yang panjang dan bercabang. Hasil pengujian didapat bahwa pada suhu 400°C jumlah minyak, gas, dan padatan yang dihasilkan berturut-turut sebesar 52%, 15% dan 33 %. Minyak yang dihasilkan lebih banyak dibandingkan dengan temperature reactor 200 °C. Hasil pada suhu 200°C jumlah minyak, gas, dan padatan yang dihasilkan berturut-turut sebesar 30%, 10%, dan 60 %. Rata-rata waktu penyalan generator berbahan bakar gasolin adalah 9,25 menit dengan berbagai macam variasi pembebanan. Waktu terlama penyalan generator adalah 11.09 menit dengan bahan bakar campuran gasolin + minyak pyrolysis ( temperatur 300°C) dan paling boros adalah 9.02 menit berbahan bakar 100 % minyak hasil pyrolysis.

Penelitian yang dilakukan oleh (I. Bizzy, Dkk. 2013) dengan judul “Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor *Type Shell and Tube* Dengan Program HTRI” yang membahas tentang Untuk mengurangi biaya produksi, perancangan alat penukar kalor terlebih dahulu sangatlah efektif dari pada membeli alat penukar yang sudah jadi. Perancangan ini berupa perhitungan dimensi alat penukar kalor tipe shell and tube menggunakan metode analisa komputerisasi Heat Transfer Research Inc. (HTRI) dan metode analisa perhitungan manual. Perhitungan dimensi alat penukar kalor ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dari alat penukar kalor berdasarkan koefisien perpindahan kalor keseluruhan, faktor pengotoran, dan penurunan tekanan yang akan terjadi Alat penukar kalor yang dirancang adalah alat penukar kalor tipe shell and tube 1 (satu) pass shell dan 1 (satu) pass tube aliran berlawanan dengan fluida panas berupa gas ammonia dan fluida dingin berupa air berdasarkan data lapangan yang diperoleh di PT Pupuk Sriwijaya Palembang. Hasil analisa perhitungan dimensi diperoleh bahwa alat penukar kalor yang dirancang sudah memenuhi syarat minimum dari faktor pengotoran yang telah ditetapkan. Kualitas alat penukar kalor akan meningkat sebanding dengan menurunnya nilai faktor pengotoran, menurunnya nilai penurunan tekanan dan besarnya dimensi alat penukar kalor.

Penelitian yang dilakukan oleh (Cahya Sutowo. 2010) dengan judul “Analisa *Heat Exchanger* jenis *Shell and tube* dengan sistem *single pass*” yang membahas tentang Proses perpindahan kalor pada dunia industri pada saat ini, merupakan proses kunci kerja dalam suatu mesin, karena semua mesin bekerja dalam temperatur yang cukup tinggi. Salah satu alat penukar kalor (Heat Exchanger), yang digunakan pada untuk mempertukarkan kalor antara fluida kerja yang berbeda temperaturnya. Oleh karena itulah penggunaan Heat Exchanger perlu diperhatikan kinerjanya secara teratur karena penggunaan Heat Exchanger dapat menghemat pemakaian energy pada mesin dengan menjaga agar mesin tersebut tidak bekerja dengan temperatur yang cukup tinggi. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa unjuk kerja alat penukar kalor jenis shell and tube dengan system satu lintasan sebagai pendingin mesin pada PLTU, PJB Muara Karang Unit 1 seperti kompresor , hydrogen cooler. Dimana alat penukar kalor ini bekerja untuk mendinginkan kembali air pendingin dari mesin selama mesin itu bekerja, dengan menggunakan air laut sebagai fluida pendinginnya. Dari data yang diperoleh, hasil analisa alat penukar kalor ini

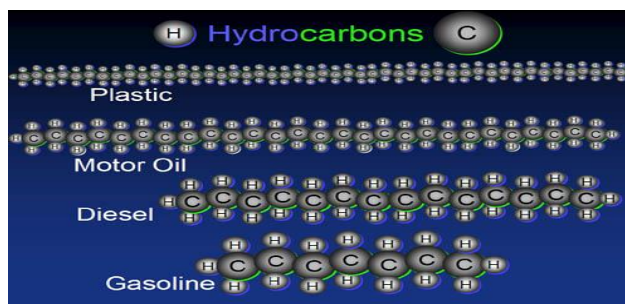
didapat laju perpindahan panas sebesar 2179,8 W dan keefektifan alat penukar kalor tersebut selama alat penukar kalor tersebut bekerja sebesar 71,5 %, dimana dari hasil analisa tersebut dapat dikatakan bahwa alat penukar kalor masih bekerja dengan baik.

Penelitian yang dilakukan oleh (Muchammad. 2018) dengan judul “Analisis Pemanfaatan Limbah Sampah Plastik Jenis Polypropylene Menjadi Bahan Bakar Alternatif” yang membahas tentang Permasalahan sampah di Indonesia khususnya sampah plastik sampai saat ini masih belum terselesaikan. Plastik sangat sulit untuk terurai secara alami, sehingga perlu adanya solusi untuk permasalahan tersebut, bahkan Indonesia menduduki peringkat kedua dunia pengguna plastik setelah Cina. Plastik adalah suatu material organik sintetik atau material organik semi sintetik yang berasal dari minyak bumi dan gas alam. Dari produk plastik, dihasilkan salah satunya polypropylene. Polypropylene sendiri merupakan polimer termoplastik yang dibuat dari hasil polimerisasi molekul propilena. Sebagian besar monomer polypropylene berasal dari proses perengkahan uap dengan menggunakan nafta yang merupakan pecahan berharga minyak mentah. Salah satu solusi alternatif untuk menangani sampah plastik yang saat ini adalah mengkonversi sampah plastik tersebut menjadi bahan bakar minyak. Sehubungan dengan kondisi tersebut maka penelitian ini bertujuan mengolah sampah plastik jenis polypropylene menjadi minyak dengan metode pirolisis menggunakan tiga variasi suhu pirolisis yaitu 250°C, 300°C, dan 350°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu pirolisis 250°C menghasilkan volume minyak 420 ml, densitas 0,75 gr/ml, nilai kalor 39.221 J/gr, kemudian suhu 300°C menghasilkan volume 480 ml, densitas 0,76 gr/ml, nilai kalor 38.870 J/gr, sedangkan pada suhu 350°C menghasilkan volume 500 ml, densitas 0,77 gr/ml, nilai kalor 38.301 J/gr. Adapun nilai oktan minyak pirolisis adalah 83,5 dan nilai viskositasnya sebesar 0,034 Poise.

## II.2 Landasan Teori

Proses pyrolisis ini pada dasarnya adalah proses yang meniru alam. Di dalam perut bumi, senyawa-senyawa hidrokarbon mengalami pemotongan dari senyawa berantai sangat panjang menjadi senyawa yang lebih sederhana. Di dalam perut bumi, suhunya sangat-sangat tinggi dan di dalam sana tidak ada api. Kombinasi dari kondisi ini menghasilkan proses pemecahan senyawa tersebut. Di dalam pyrolisis, kondisi tersebut didekati dengan suhu tinggi yang tidak disertai adanya oksigen, sehingga tidak terjadi reaksi pembakaran.

Proses penguraian sampah plastik merupakan senyawa polimer. Polimer adalah senyawa yang terdiri dari pola rantai berulang dari atom yang panjang.



Gambar 1.1. hidrokarbon

Sumber : (<https://saintif.com/sampah-plastik-menjadi-bbm/>)

Polimer plastik ini memiliki struktur yang sama seperti struktur minyak bumi, yaitu hidrokarbon atau C-H. Bedanya, pada proses pembuatannya, plastik melalui proses polimerisasi sehingga rantai senyawanya menjadi sangat panjang. Meskipun begitu, seperti yang telah kita tahu, pada dasarnya plastik terdiri dari hidrokarbon juga. Dengan proses pirolisis, senyawa plastik yang panjang tersebut diurai kembali menjadi minyak dengan memotong rantai panjang hidrokarbonnya.

Proses pirolisis sampah plastik merupakan proses dekomposisi senyawa organik yang terdapat dalam plastik melalui proses pemanasan dengan sedikit atau tanpa melibatkan oksigen. Pada proses pirolisis senyawa hidrokarbon rantai panjang yang terdapat pada plastik diharapkan dapat diubah menjadi senyawa hidrokarbon yang lebih pendek dan dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh suhu terhadap perolehan minyak hasil pirolisis, mengetahui pengaruh suhu dan jenis plastik terhadap sifat fisik dan sifat kimia dari minyak hasil pirolisis.

Dengan pengolahan sampah menggunakan metode pirolisis ini diharapkan masyarakat yang melakukannya dapat memanfaatkan Limbah berbahan dasar plastik sebagai bahan bakar kompor minyak rumah tangga. Sedangkan komponenen dari alat *Pyrolisis* ini sendiri terdiri dari Tangki destilasi, Alat penukar kalor, *Splitting Tank*, tangki produk, *Burner* dan *Cooling Tower* system dengan menggunakan media pendinginnya adalah Air.

## II.2.1 Proses Pyrolysis

Pirolisis adalah dekomposisi kimia bahan organik melalui proses pemanasan tanpa atau sedikit oksigen atau reagen lainnya, di mana material mentah akan mengalami pemecahan struktur kimia menjadi fase gas. Pirolisis adalah kasus khusus termolisis. Pirolisis ekstrim, yang hanya meninggalkan karbon sebagai residu, disebut karbonisasi.

Pirolisis adalah kasus khusus dari thermolysis terkait dengan proses kimia charring, dan yang paling sering digunakan untuk organik bahan.. Hal ini terjadi secara spontan pada temperatur tinggi (misalnya, di atas 300 ° C untuk kayu, itu berbeda untuk bahan lainnya), misalnya dalam kebakaran atau ketika vegetasi datang ke dalam kontak dengan lava dalam letusan gunung berapi. Secara umum, gas dan cairan menghasilkan produk dan meninggalkan residu padat kaya kandungan karbon. Extreme pirolisis, yang daun karbon sebagai residu, disebut karbonisasi. Hal itu tidak melibatkan reaksi dengan oksigen atau reagen lainnya, tetapi dapat terjadi dalam kehadiran mereka.

Pirolisis yang banyak digunakan dalam industri kimia, misalnya, untuk menghasilkan arang, karbon aktif, metanol dan bahan kimia lainnya dari kayu, untuk mengubah ethylene dichloride ke vinil klorida untuk membuat PVC, untuk memproduksi kokas dari batubara, untuk mengubah biomassa menjadi gas sintesis, untuk mengubah limbah menjadi bahan sekali pakai dengan aman, dan untuk retak menengah-berat hidrokarbon dari minyak untuk memproduksi lebih ringan yang seperti bensin.

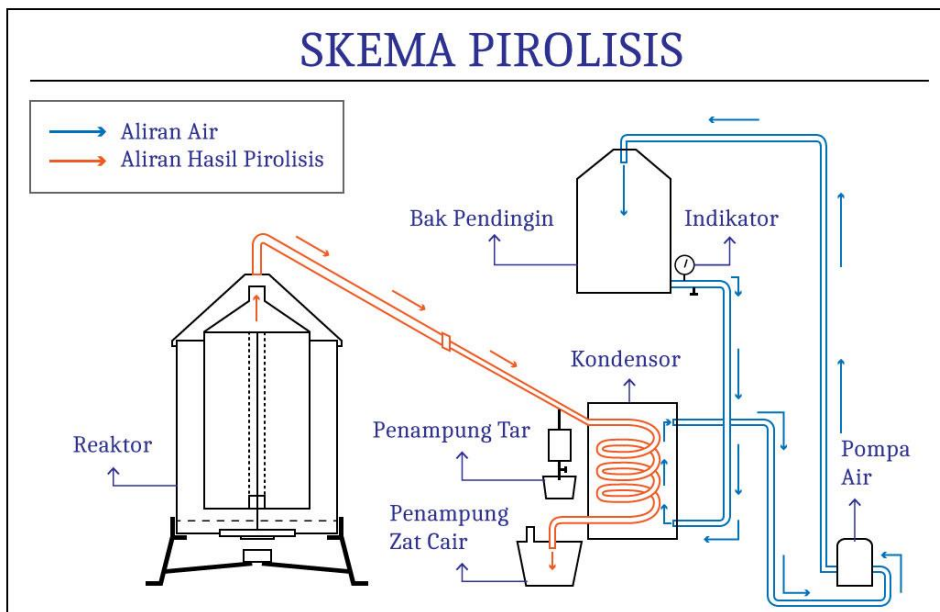
Ini adalah proses kimia penting di beberapa memasak prosedur seperti memanggang, menggoreng, memanggang, dan karamel. Pirolisis juga merupakan alat analisis kimia, misalnya dengan pirolisis kromatografi gas spektrometri massa dan di carbon-14 kencana. Memang, banyak zat kimia penting, seperti fosfor dan asam sulfat, pertama kali diperoleh dengan proses ini. Telah

diasumsikan berlangsung selama catagenesis, konversi dimakamkan bahan organik untuk bahan bakar fosil. *Pyrolysis is also the basis of pyrography* . Pirolisis juga merupakan dasar *pyrography*.

Pirolisis adalah kasus khusus dari *Thermolysis* terkait dengan proses kimia, dan yang paling sering digunakan untuk organik bahan.. Hal ini terjadi secara spontan pada temperatur tinggi (misalnya, di atas 300 ° C untuk kayu, itu berbeda untuk bahan lainnya), misalnya dalam kebakaran atau ketika vegetasi datang ke dalam kontak dengan lava dalam letusan gunung berapi. Secara umum, gas dan cairan menghasilkan produk dan meninggalkan residu padat kaya kandungan karbon. Extreme pirolisis, yang diolah karbon sebagai residu, disebut karbonisasi. Hal itu tidak melibatkan reaksi dengan oksigen atau reagen lainnya, tetapi dapat terjadi dalam kehadiran mereka. (Dr. Eng. Jenny Rizkiana, S.T., M.T. 2015 )

Pirolisis yang banyak digunakan dalam industri kimia, misalnya, untuk menghasilkan arang, karbon aktif, metanol dan bahan kimia lainnya dari kayu, untuk mengubah ethylene dichloride ke vinil klorida untuk membuat PVC, untuk memproduksi kokas dari batubara, untuk mengubah biomassa menjadi gas sintesis, untuk mengubah limbah menjadi bahan sekali pakai dengan aman, dan untuk retak menengah-berat hidrokarbon dari minyak untuk memproduksi lebih ringan yang seperti bensin.

Pada kasus ini, material yang Akan diolah adalah sampah plastik non organik yang berbahan dasar dari poly ataupun mono ethylene dengan Perbandingan tipe sampah plastik pertama tipe 1 : Polyethylene Terephthalate (*PET or PETE or Polyester*) dan tipe 2 : *High Density Polyethylene (HDPE)* ,dengan jumlah perbandingan sampah plastik 1:1. Perbandingan ke-dua tipe 1 : Polyethylene Terephthalate (*PET or PETE or Polyester*) dan tipe 4 : *Low Density Polyethylene (LDPE)*, dengan jumlah perbandingan sampah plastik 1:1. Perbandingan ke-tiga tipe 1 : Polyethylene Terephthalate (*PET or PETE or Polyester*) dan tipe 6 : *Polystyrene (PS)* , dengan jumlah perbandingan sampah plastik 1:1. Dimana uap hidro karbon yang di panaskan oleh Burner akan dikondensasi oleh alat penukar kalor jenis *shell And tube*. Diharapkan agar uap hidro karbonyang terjadi akan terkondensasi sepenuhnya oleh alat penukar kalor dengan media air.



Gambar 1.2. skema *Pyrolysis*

Sumber : (<https://ptsse.co.id/halamanlinibisnis/detail/penelitian-dan-pengembangan>)

## II.3 Rumus perhitungan

### II.3.1 Analisa Performansi Cooling Tower

Performansi cooling tower dievaluasi untuk mengetahui tingkat approach dan range yang terjadi terhadap nilai desain, mengidentifikasi area terjadinya pemborosan energi dan memberikan saran perbaikan. Untuk mengukur performansi maka perlu diketahui beberapa parameter operasional cooling tower, antara lain:

- 1) Suhu udara wet bulb ( $T_{wb}$ )
- 2) Suhu udara dry bulb ( $T_{db}$ )
- 3) Suhu air masuk menara pendingin ( $T_{w,in}$ )
- 4) Suhu air keluar menara pendingin ( $T_{w,out}$ )
- 5) Suhu udara keluar ( $T_{a,out}$ )
- 6) Laju aliran massa air ( $L$ )
- 7) Laju aliran massa udara ( $G$ )

Sedangkan performansi dari cooling tower yang ditinjau antara lain:

#### a) Range

Merupakan beda antara suhu air masuk dan keluar cooling tower. Range yang tinggi menunjukkan bahwa cooling tower mampu menurunkan suhu air secara efektif, dan kinerjanya bagus. Secara matematis nilai range dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A. \text{ Range } (^{\circ}\text{C}) = T_{w,in} - T_{w,out} \quad (1.1)$$

#### B. Approach

Merupakan beda antara suhu air dingin keluar cooling tower dan suhu wet bulb ambien. Semakin rendah approach semakin baik kinerja cooling tower. Approach merupakan indikator yang lebih baik untuk kinerja cooling tower. Persamaan (2) digunakan untuk mengetahui nilai approach yang dapat dicapai oleh cooling tower.

$$\text{Approach } (^{\circ}\text{C}) = T_{w,out} - T_{wb} \quad (1.2)$$

#### C. Efisiensi Termal ( $\epsilon$ )

$$\mu = (T_{w, in} - T_{w,out_o}) 100 / (T_{w,in_i} - T_{wb_{wb}}) \quad (1.3)$$

Merupakan perbandingan antara range dan range ideal (dalam persentase), yaitu perbedaan antara suhu masuk air pendingin dan suhu wet bulb ambien, atau dengan kata lain:

$$D. \text{ Laju Aliran Massa Air } (L) \quad (1.4)$$

$$E. \text{ Kapasitas Pendinginan } (Q_w) \quad (1.5)$$

Merupakan jumlah panas yang dibuang dari air, sebagai hasil dari kecepatan aliran masa air, panas spesifik ( $cp_w$ ) dan perbedaan suhu.



$$Q_w \text{ (kW)} = (4)$$

$$F. \text{ Laju Aliran Massa Udara (G)} \tag{1.6}$$

$$G = Q_{udara} \times \rho_{udara}$$

$$\text{rasio aliran air dengan udara (L/G), Marley.} \tag{1.7}$$

$$\frac{L}{G} = \frac{h_2 - h_1}{T_2 - T_1}$$

$$G. \text{ Rugi Penguapan} \tag{1.8}$$

Merupakan jumlah air yang diuapkan agar terjadi pendinginan. Jumlah air yang menguap dipengaruhi oleh panas laten air (hfg) itu sendiri:

$$E \text{ (kg/s)} = (5)$$

$$E \text{ (m}^3\text{/jam)} = x_{vf} \times 3600 \tag{6}$$

$$H. \text{ Rugi Blowdown (B)} \tag{1.9}$$

Rugi blowdown adalah kerugian yang diakibatkan oleh pembuangan sejumlah air sirkulasi untuk mencegah terjadinya konsentrasi larutan atau zat-zat lain pada air sirkulasi. Akibat konsentrasi larutan tersebut, maka larutan akan menjadi gumpalan-gumpalan yang dapat menyumbat saluran air sirkulasi, sehingga proses sirkulasi air terganggu. Besar nilai blowdown yang dibutuhkan bergantung pada range pendinginan yang dihasilkan dan komposisi zat-zat yang ada pada air make-up (suplai air pengganti). Tabel 1 menunjukkan nilai persentase blowdown menurut nilai konsentrasi air dan range pendinginan yang terjadi.

Tabel 1.1. Persentase blowdown (Marley Corp.)

Cooling Range	Number of Concentrations						
	1.5X	2.0X	2.5X	3.0X	4.0X	5.0X	6.0X
5°F (2.78°C)	.78	.38	.25	.18	.11	.08	.06
10°F (5.56°C)	1.58	.78	.51	.38	.25	.18	.14
15°F (8.33°C)	2.38	1.18	.78	.58	.38	.28	.22
20°F (11.11°C)	3.18	1.58	1.05	.78	.51	.38	.30
25°F (13.89°C)	3.98	1.98	1.32	.98	.64	.48	.38

$$I. \text{ Grift Loss (D)} \tag{1.10}$$

Yaitu kerugian massa air akibat terbawa aliran udara yang melintasi cooling tower. Jumlah drift loss terjadi relatif dan dapat diperkecil dengan penggunaan drift eliminators pada cooling tower. Berikut nilai persentase untuk drift loss yang dapat dipakai saat informasi nilai persentase drift loss yang direkomendasikan dari Pabrikan tidak diketahui.

D = 0.3 – 1.0 persen dari L untuk cooling tower penggerak udara alami (natural draft) tanpa drift eliminators

D = 0.1 – 0.3 persen dari L untuk induced draft cooling tower tanpa drift eliminators  
 D = sekitar 0.005 persen dari L (atau kurang) jika cooling tower dilengkapi dengan drift eliminators.

Laju Aliran Air Pengganti (Make-up)

Merupakan suplai air pengganti akibat kerugian air untuk terjadinya proses pendinginan.

Laju aliran air make-up minimum yang diperlukan merupakan jumlah akumulasi total kerugian yang terjadi.

$$\text{Make-up} = B + D + E \quad (7)$$

J. Perbandingan Cair/Gas (L/G)

Perbandingan L/G menara pendingin merupakan perbandingan antara laju aliran massa air dan udara. Menara pendingin memiliki nilai desain tertentu, namun variasi karena musim memerlukan pengaturan dan perubahan laju aliran air dan udara untuk mendapatkan efektivitas terbaik menara pendingin. Aturan termodinamika menyatakan bahwa panas yang dibuang dari air sama dengan panas yang diserap oleh udara sekitarnya. Oleh karena itu persamaan berikut dapat digunakan:

$$L \cdot c_p \cdot w(T_{w,in} - T_{w,out}) = G(h_{a,out} - h_{a,in})$$

Dimana:

$h_{a,out}$  = entalpi udara keluaran (kJ/kg)

$h_{a,in}$  = entalpi udara masukan (kJ/kg)

K. Laju Aliran Air Pengganti (Make-up) (1.11)

Merupakan suplai air pengganti akibat kerugian air untuk terjadinya proses pendinginan.

Laju aliran air make-up minimum yang diperlukan merupakan jumlah akumulasi total kerugian yang terjadi.

$$\text{Make-up Air} = B + D + E$$

L. Perhitungan Performance Efficiency untuk yaitu :

$$\text{Performance Rate} = \text{actual output} : \text{plan} \times 100\% \quad (1.12)$$

### II.3.2 Beban Pemanasan Tangki

Pada proses pengolahan sampah dengan metode ini, peran *Burner* sebagai pemanas tangki untuk menguapkan material Plastik berada di posisi bawah tangka destilator. Beban pemanasan yang terjadi hanya terdpat pada satu titik yaitu di area bawah tangki, untuk itu perlu diperhatikan dalam perhitungan penggunaan panas atau kalor yang akan dibutuhkan agar sampah plastik dapat menguap seluruhnya, dari penjelasan diatas maka berikut adalah persamaan dari beban panas :

Rumus Total beban Kalor : (1.13)

Rumus:

$$Q = m \times c \times \Delta t$$

$$Q = C \times \Delta t$$

$$C = m \times c$$

dengan ketentuan:

- a) Q = kalor yang diterima suatu zat (Joule)
- b) m = massa zat (Kilogram)
- c) c = kalor jenis zat (Joule/kilogram°C)
- d)  $\Delta t$  = perubahan suhu (°C)  $\rightarrow (t_2 - t_1)$

$$Q = A U \Delta T \quad (1.14)$$

Dimana :

$Q$  = Jumlah panas yang dipindahkan (watt)

$A$  = Luas Permukaan ( $m^2$ )

$\Delta T$  = Perbedaan Temperatur (K)

Harga Koefisien perpindahan panas total ( $U$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{f_1} + \frac{x}{k_1} + \frac{x}{k_2} + \frac{x}{k_n} + \frac{1}{f_0}}$$

Dimana :

$U$  = Angka koefisien perpindahan panas ( $watt/m^2 K$ )

$k_1, k_2, \dots, k_n$  = Konduktivitas termal material ( $watt/m K$ )

$x$  = Tebal material ( $m$ )

$f_1$  = Koefisien lapisan udara dalam

Nilai  $f_1$  adalah  $1,65 BTU/h = 9,27 watt/m^2 K$

$f_0$  = Koefisien lapisan udara bagian luar

Nilai  $f_0$  adalah  $4 BTU/h = 22,7 watt/m^2 K$

Hingga menghasilkan

$$Q = m \times U \quad (1.15)$$

### II.3.3 Performansi Pada Kondensor Tipe *Shell and Tube*

Perencanaan ini digunakan sebagai langkah awal untuk menganalisa komponen alat pengolah sampah plastik dengan metode pirolisis, dengan asumsi:

Kapasitas mesin alat pengolah sampah plastik = 50kg/batch

Dengan ukuran kondenser tipe *shell and tube* sebagai berikut :

Dimensi Shell  $\varnothing$  101.6mm

L 600mm

Dimensi Tube  $\varnothing$  100mm

L 550mm

n 30 tube

Berdasarkan analisis data dan pengukuran data awal kondisi operasi yang diberikan untuk alat penukar kalor *kondensor* tipe *shell* dan *tube* sebagai berikut:

1. Tekanan masuk 20.2 kpa
2. Tekanan keluar 20.2 kpa
3. Temperatur air masuk ( $T_{ci}$ ) 26 °C
4. Temperatur air keluar ( $T_{co}$ ) 40 °C
5. Temperatur uap sampah ( $T_{hi}$ ) 150 °C
6. Temperatur koondensasi sampah ( $T_{ho}$ ) 35 °C,
7. Laju aliran 202.40 kg/s

Perhitungan perpindahan kalor yang diterima oleh aliran fluida air

Besarnya laju aliran fluida air yang ada di kondensor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$Q_c = mc.cpc (T_{co} - T_{ci}) \quad (1.16)$$

Dan dari persamaan kesetimbangan energy, maka kalor yang diterima air dianggap sama dengan kalor yang dilepas air.

Sehingga  $Q_c = Q_h$  merupakan nilai perpindahan kalor aktual yang dilepaskan pada alat penukar kalor. (1.17)

Dimana :

$$mc = 202.40 \text{ kg/s}$$

$$T_{co} = 40 \text{ }^\circ\text{C} = 310 \text{ K}$$

$$T_{ci} = 26 \text{ }^\circ\text{C} = 299 \text{ K}$$

Kemudian, Sifat-sifat fisik fluida air (lihat tabel sifat-sifat fisik fluida air), yang dievaluasi pada temperatur 40 °C memberikan data :

$$P = 988 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{pc} = 4181 \text{ J/kgK}$$

$$\mu = 548 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

$$k = 0.643 \text{ W/mK}$$

Maka diperoleh,  $Q_c = mc \cdot c_{pc} (T_{co} - T_{ci})$

$$Q_c = 202.40 \text{ kg/s} \times 4181 \text{ J/kg.K} \times (310 - 299)$$

Perhitungan perpindahan kalor yang dilepas uap sampah plastik

Sistem pendinginan yang dilakukan pada mesin pendingin dimana menggunakan fluida pendinginnya yaitu air. Laju aliran massa fluida pendingin pada *kondensor* yaitu 202.40 kg/s

Selanjutnya untuk menentukan besarnya laju perpindahan kalor yang dilepas uap sampah plastik pada alat penukar kalor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$Q_h = mh \cdot c_{ph} (T_{hi} - T_{ho}) \quad (1.18)$$

Kemudian, Dari data sifat-sifat fisik plastik (tabel sifat-sifat fluida hidrokarbon) yang dievaluasi pada temperatur ( $T_{ho}$ ) 35 °C diperoleh harga  $c_{ph} = 2550 \text{ J/kgK}$ . Sehingga:

$$mh = Q_h / c_{ph} \cdot (T_{hi} - T_{ho}) \quad (1.19)$$

Dimana,

$$Q_c = Q_h$$

Maka diperoleh  $mh$

$Q_h$  merupakan laju aliran perpindahan kalor yang dilepas dan merupakan energi yang dikeluarkan oleh alat penukar kalor ( $Q_{out}$ ).

### II.3.4 Perhitungan Daya Yang Di Butuhkan

Berdasarkan Data yang di miliki, berikut adalah spesifikasi pompa sirkulasi untuk cooling tower system :

- a. tegangan: 220 Volt
- b. frekuensi : 50Hz
- c. pipa : 1inchi atau 25,4mm
- d. Head max : 35 meter
- e. Daya W : 125 Watt
- f. Laju alir Q : 34L/menit atau 2040L/jam
- g. Putaran n : 2850 Rpm
- h. Efisiensi: 94%

#### 1. Pompa Sirkulasi Air Cooling Tower

##### A. Head Tekanan

Head tekanan adalah perbedaan head tekanan yang bekerja pada permukaan zat cair pada sisi tekan dengan head tekanan yang bekerja pada permukaan zat cair pada sisi isap.

Head tekanan dapat dinyatakan dengan rumus :

$$H_k = \frac{34L/menit}{9,8 \times 2} - \frac{28L/menit}{9,8 \times 2} \quad (1.20)$$

A. Daya Pompa

Daya pompa adalah besarnya energi persatuan waktu atau kecepatan melakukan kerja.

Ada beberapa pengertian daya, yaitu :

Daya hidrolik (hydraulic horse power)

Daya hidrolik (daya pompa teoritis) adalah daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Daya ini dapat dihitung dengan rumus persamaan 1.21

$$HHP = \frac{Q \times H \times \gamma}{75} \dots\dots\dots$$

HHP : Daya hidrolik pompa (Hp)

Q : Kapasitas pompa (m<sup>3</sup>/s)

H : Total Head pompa (m)

γ : Berat spesifik cairan (kg/m<sup>3</sup>)

Maka dapat di peroleh :

$$HHP = \frac{Q \times H \times \lambda}{75} \quad (1.21)$$

Daya Poros Pompa (Break Horse Power)

Untuk mengatasi kerugian daya yang dibutuhkan oleh poros yang sesungguhnya adalah lebih besar dari pada daya hidrolik.

Besarnya daya poros sesungguhnya adalah sama dengan efisiensi pompa

$$BHP = \frac{HHP}{\eta_p} \quad \text{atau} \quad NP = \frac{Q \times H \times \gamma}{75 \times \eta_p}$$

**Dimana :**

BHP atau NP : Brake Horse Power

HHP : Hidrolik Horse Power

η<sub>p</sub> : Efisiensi optimum pompa

atau dapat dirumuskan sebagai berikut : ( 1.22)

$$BHP = \frac{Q \times H \times \lambda}{75 \times \eta_p}$$

Effisiensi Pompa

Effisiensi pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan antara output dan input atau perbandingan antara HHP Pompa dengan BHP pompa.

Harga efisiensi yang tertinggi sama dengan satu harga efisiensi pompa yang didapat dari pabrik pembuatnya.

Tabel dibawah adalah pengaruh penggunaan variasi ukuran pipa hisap terhadap debit dan kecepatan aliran air.

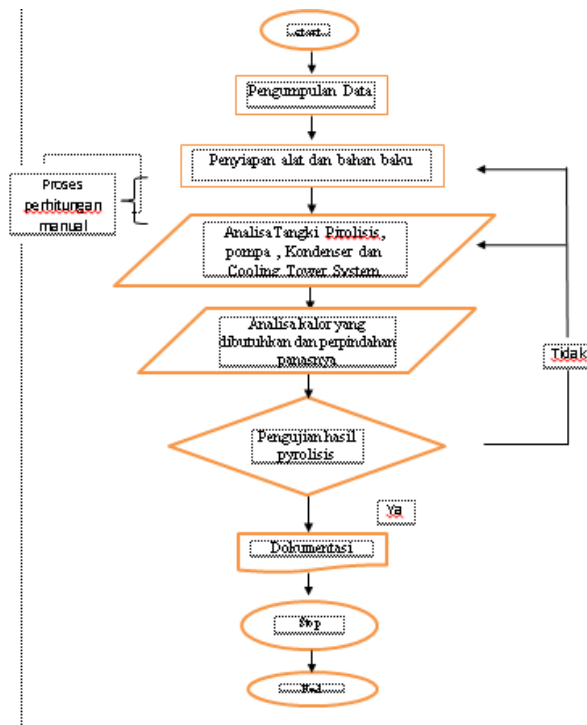
Tabel 1.2 Pengaruh penggunaan varian pipa

Pengaruh Penggunaan Variasi Ukuran Pipa Hisap Terhadap Debit dan Kecepatan Aliran Air

Panjang Pipa		Diameter Pipa		Debit Aliran			Kec. Aliran (m/detik)
Isap (mm)	Tekan (mm)	Isap (inchi)	Tekan (inchi)	Kapasitas Awal (m <sup>3</sup> )	Kapasitas Akhir (m <sup>3</sup> )	Selisih debit aliran (m <sup>3</sup> /menit)	
1000	1200	3/8	3/4	140	160	20	4,68
1000	1200	1/2	3/4	340	360	20	2,63
1000	1200	3/4	3/4	550	572	22	1,29
1000	1200	1	3/4	735	757	22	0,72
1000	1200	1.1/2'	3/4	930	952	22	0,46

### III. METODE PENELITIAN

Dalam kajian proses pengolahan sampah dengan metode *Pyrolysis* ini, dilakukan langkah – langkah sebagai berikut :



Gambar. 1.3 Diagram alir penelitian.pirolisis sampah plastik

#### III.1 Hipotesa penelitian

1. Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui kalor yang digunakan alat pengolah sampah metode *pyrolysis* dari perbandingan tipe sampah PET & HDPE, PET & LDPE, dan PET &

- PS dengan perbandingan 1:1 pada alat pengolahan sampah metode *pyrolysis* dengan cara perhitungan perbandingan suhu dalam percobaan tersebut.
2. Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui perbandingan hasil minyak plastik yang didapat dari perbandingan tipe sampah PET & HDPE, PET & LDPE, dan PET & PS dengan perbandingan 1:1 pada alat pengolahan sampah metode *pyrolysis* agar mengetahui perbandingan mana yang paling banyak menghasilkan minyak plastik.
  3. Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui laju perpindahan kalor yang dilepas uap sampah plastik pada *heat exchanger type shell and tube* pada alat pengolahan sampah metode *pyrolysis* dari perbandingan tipe sampah PET & HDPE, PET & LDPE, dan PET & PS dengan perbandingan 1:1 dengan adanya perbedaan suhu kita dapat menghitung perpindahan panas yang terjadi di alat pengolah sampah tersebut.
  4. Penelitian yang dilakukan untuk mengetahui *Performance* pada *cooling tower* dan beban pada pompa pendingin pada alat pengolahan sampah metode *pyrolysis* dari perbandingan tipe sampah PET & HDPE, PET & LDPE, dan PET & PS dengan perbandingan 1:1 dengan adanya data yang didapat dari percobaan kita dapat menghitung *Performance* yang terjadi di alat pengolah sampah tersebut.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### IV.1 Analisis Alat Pengolah Sampah Metode Pirolisis

Analisa pada alat pengolah sampah menjadi bahan bakar kompor minyak dengan metode pirolisis menggunakan perbandingan bahan baku sampah plastik dengan kapasitas alat 50 kg / batch.



Gambar 1.4. Alat pengolah sampah metode pirolisis

##### IV.2 Analisis *Performance* Pompa

Berdasarkan Data yang di miliki, berikut adalah spesifikasi pompa sirkulasi untuk *cooling tower* system :

- a. tegangan: 220 Volt
- b. frekuensi : 50Hz
- c. pipa : 1inchi atau 25,4mm
- d. Head max : 35 meter
- e. Daya W : 125 Watt
- f. Laju alir Q : 34L/menit atau 2040L/jam
- g. Putaran n : 2850 Rpm
- h. Efisiensi: 94%

#### Pompa Sirkulasi Air Cooling Tower

##### a) Head Tekanan

Head tekanan adalah perbedaan head tekanan yang bekerja pada permukaan zat cair pada sisi tekan dengan head tekanan yang bekerja pada permukaan zat cair pada sisi isap.

Head tekanan dapat dinyatakan dengan rumus persamaan 1.10

$$\begin{aligned} H_k &= \frac{34L/menit}{9,8 \times 2} - \frac{28L/menit}{9,8 \times 2} \\ &= 0,31 \text{ L/menit} \end{aligned}$$

##### b. Daya Pompa

Daya pompa adalah besarnya energi persatuan waktu atau kecepatan melakukan kerja.

Ada beberapa pengertian daya, yaitu :

##### 1. Daya hidrolik (hydraulic horse power)

Daya hidrolik (daya pompa teoritis) adalah daya yang dibutuhkan untuk mengalirkan sejumlah zat cair. Daya ini dapat dihitung dengan rumus persamaan 1.21

Maka dapat di peroleh :

$$\begin{aligned} \text{HHP} &= \frac{Q \times H \times \lambda}{75} \\ &= 34L/menit \times 35 \text{ m} \times 1 \text{ kg}/M^3 : 75 \\ \text{HHP} &= 2.04 \text{ M}^3/s \times 35 \times 1 : 75 \\ \text{HHP} &= 1,12 \end{aligned}$$

##### 2. Daya Poros Pompa (Break Horse Power)

Untuk mengatasi kerugian daya yang dibutuhkan oleh poros yang sesungguhnya adalah lebih besar dari pada daya hidrolik.

Besarnya daya poros sesungguhnya adalah sama dengan efisiensi pompa atau dapat dirumuskan seperti pada persamaan 1.22

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{Q \times H \times \lambda}{75 \times \eta} \\ \text{BHP} &= \frac{2.04 \text{ M}^3/s \times 35 \times 1}{75 \times 0,94} \\ \text{BHP} &= 1,012 \end{aligned}$$

##### c. Effisiensi Pompa

Effisiensi pada dasarnya didefinisikan sebagai perbandingan antara output dan input atau perbandingan antara HHP Pompa dengan BHP pompa.



Harga efisiensi yang tertinggi sama dengan satu harga efisiensi pompa yang didapat dari pabrik pembuatnya.

Effisiensi pompa merupakan perkalian dari beberapa efisiensi, yaitu:  
(persamaan 1.23)

$$\eta_p = \eta_h \times \eta_v \times \eta_m$$

**Dimana :**

$\eta_p$  : Effisiensi Pompa

$\eta_h$  : Effisiensi hidrolis

$\eta_v$  : Effisiensi volumetris

$\eta_m$  : Effisiensi mekanis

Dapat di peroleh angka dari rumusan tersebut adalah  
 $0,94 \times 0,88 \times 0,96 \times 0,92 = 76,41 \%$

Tabel 1.3. Pengaruh penggunaan varian pipa

Pengaruh Penggunaan Variasi Ukuran Pipa Hisap  
Terhadap Debit dan Kecepatan Aliran Air

Panjang Pipa		Diameter Pipa		Debit Aliran			Kec. Aliran (m/detik)
Isap (mm)	Tekan (mm)	Isap (inchi)	Tekan (inchi)	Kapasitas Awal (m <sup>3</sup> )	Kapasitas Akhir (m <sup>3</sup> )	Selisih debit aliran (m <sup>3</sup> /menit)	
1000	1200	3/8	3/4	140	160	20	4,68
1000	1200	1/2	3/4	340	360	20	2,63
1000	1200	3/4	3/4	550	572	22	1,29
1000	1200	1	3/4	735	757	22	0,72
1000	1200	1.1/2'	3/4	930	952	22	0,46

### IV.3 Analisis Efisiensi Cooling tower

Cooling tower sistem yang bekerja pada alat penukar kalor, adapun parameter operasional cooling tower, antara lain:

- Suhu udara wet bulb (Twb)
- Suhu udara dry bulb (Tdb)
- Suhu air masuk menara p/endingin (Tw,in)
- Suhu air keluar menara pendingin (Tw,out)
- Suhu udara keluar (Ta,out)
- Laju aliran massa air (L)
- Laju aliran massa udara (G)

$$\begin{aligned} \text{A. Range } (^{\circ}\text{C}) &= T_{w,in} - T_{w,out} \\ &= 40^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C} \\ &= 7^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

B. Approach (°C) =  $T_{w,out} - T_{wb}$   
 =  $33^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$   
 =  $3^{\circ}$

C. Efisiensi Termal

$$\mu = (T_{w, in} - T_{w, out_o}) 100 / (T_{w, in_i} - T_{wb_{wb}})$$

$$= (40^{\circ}\text{C} - 33^{\circ}\text{C}) \times 100\% / (40^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C})$$

$$= 70 \%$$

D. Laju Aliran Massa Air (L)

$$L = Q_{air} \times \rho_{air} 40^{\circ}\text{C}$$

Berdasarkan kapasitas pompa sentrifugal untuk sirkulasi cooling tower sistem  
 Yaitu : 34L/menit

: 2040L/jam

:  $204\text{M}^3/\text{jam}$

Berdasarkan tabel 4.2 Rho air pada suhu  $40^{\circ}\text{C}$  adalah 0.9922

Maka Laju Aliran Massa Air (L)

$$L = 0,9922 \text{ kg}/\text{M}^3 \times 204 \text{ M}^3/\text{jam}$$

$$L = 202,40 \text{ kg}/\text{jam}.$$

Dalam satuan s maka  $L = 0,56 \text{ kg}/\text{s}$

Tabel 1.4. Daftar Berat Jenis Air

DAFTAR BERAT JENIS AIR			
Temperatur (t°C)	Berat Jenis	Temperatur (t°C)	Berat Jenis
20	0,9982	30	0,9957
21	0,9980	31	0,9954
22	0,9978	32	0,9951
23	0,9976	33	0,9947
24	0,9973	34	0,9944
25	0,9971	35	0,9941
26	0,9968	36	0,9937
27	0,9965	37	0,9934
27,5	0,9964	38	0,9930
28	0,9963	39	0,9926
29	0,9960	40	0,9922

E. Kapasitas Pendingin (Q) Cooling Tower

$$Q = 175.191 \text{ kg}/\text{s} \times 4,19 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot \text{K} \times 293 \text{ K}$$

$$Q = 215. 076,73 \text{ kJ}/\text{kg}$$

F. Laju Aliran Massa Udara (G)

$$G = Q_{udara} \times \rho_{udara} 29,24^{\circ}\text{C}$$

Massa jenis udara  $29,24^{\circ}\text{C}$  pada (Tabel 4.3 Incopera) =  $1,1539 \text{ kg}/\text{m}^3$

$$G = 345.600 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1,1539 \text{ kg/m}^3$$

$$G = 398.803,488 \text{ kg/jam}$$

$$G = 110,778 \text{ kg/s}$$

$$\frac{L}{G} = \frac{0,56 \text{ kg/s}}{110,778 \text{ kg/s}} = 0,05055$$

### G. Rugi Penguapan

Merupakan jumlah air yang diuapkan agar terjadi pendinginan. Jumlah air yang menguap dipengaruhi oleh panas laten air (hfg) itu sendiri  
 Rugi Penguapan(E) =  $R \times 1/100 \times \Delta T / 5,8$  ( m<sup>3</sup>/h)  
 Dimana :

E = Evaporasi

R = Flow rate Circulasi water ( m<sup>3</sup>/h )

$\Delta T$  = Beda temperature inlet dan outlet Cooling tower ( °C )

$$E = R \times 1/100 \times \Delta T / 5,8 \text{ ( m}^3/\text{h)}$$

$$E = 204M^3/\text{jam} \times 0,001 \times \frac{3^\circ\text{C}}{5,8 M^3/\text{jam}}$$

$$E = 1,05 \%$$

$$\text{Windage Loss} = 1,05 \% \text{ dari flow rate}$$

$$= 204 M^3/\text{jam} \times 1,05\%$$

$$= 0,2142 M^3/\text{jam}$$

### H. Rugi Blowdown (B)

Rugi blowdown adalah kerugian yang diakibatkan oleh pembuangan sejumlah air sirkulasi untuk mencegah terjadinya konsentrasi larutan atau zat-zat lain pada air sirkulasi. Akibat konsentrasi larutan tersebut, maka larutan akan menjadi gumpalan-gumpalan yang dapat menyumbat saluran air sirkulasi, sehingga proses sirkulasi air terganggu. Besar nilai blowdown yang dibutuhkan bergantung pada range pendinginan yang dihasilkan dan komposisi zat-zat yang ada pada air make-up (suplai air pengganti). Tabel menunjukkan nilai persentase blowdown menurut nilai konsentrasi air dan range pendinginan yang terjadi. B = 0,78

Tabel 4.5. Persentase blowdown (Marley Corp.)

Cooling Range	Number of Concentrations						
	1.5X	2.0X	2.5X	3.0X	4.0X	5.0X	6.0X
5°F (2.78°C)	.78	.38	.25	.18	.11	.08	.06
10°F (5.56°C)	1.58	.78	.51	.38	.25	.18	.14
15°F (8.33°C)	2.38	1.18	.78	.58	.38	.28	.22
20°F (11.11°C)	3.18	1.58	1.05	.78	.51	.38	.30
25°F (13.89°C)	3.98	1.98	1.32	.98	.64	.48	.38

J. Grift Loss (D) ..... (persamaan 2.10)

Yaitu kerugian massa air akibat terbawa aliran udara yang melintasi cooling tower. Jumlah drift loss terjadi relatif dan dapat diperkecil dengan penggunaan drift eliminators pada cooling tower. Berikut nilai persentase untuk drift loss yang dapat dipakai saat informasi nilai persentase drift loss yang direkomendasikan dari pabrikan tidak diketahui.

$$D = 0.3\% - 1.0\%$$

dari L untuk cooling tower penggerak udara alami (natural draft) tanpa drift eliminators

$$D = 0.1\% - 0.3\%$$

dari L untuk induced draft cooling tower tanpa drift eliminators

$$D = 0.005\%$$

dari L (atau kurang) jika cooling tower dilengkapi dengan drift eliminators.

Maka dari design cooling tower alat pengolah sampah plastik adalah jenis Induced Draft tanpa Eliminator diperoleh hasil sbb :

$$D = 0,1\% \times 0,56 = 0,056 \text{ dan}$$

$$= 0,3\% \times 0,56 = 0,168$$

$$D = 0,056 - 0,168 \text{ (ambil terbesar) } = 0,168$$

K. Laju Aliran Air Pengganti (Make-up) .....(persamaan 2.11)

Merupakan suplai air pengganti akibat kerugian air untuk terjadinya proses pendinginan. Laju aliran air make-up minimum yang diperlukan merupakan jumlah akumulasi total kerugian yang terjadi.

$$\text{Make-up Air} = B + D + E$$

$$= 0,78 + 0,168 + 2,142$$

$$= 3,09$$

$$= 1,388 \text{ M}^3/\text{hari}$$

L. Perhitungan Performance Efficiency untuk yaitu :

$$\text{Performance Rate} = \text{actual output} : \text{plan} \times 100\% \text{ ..... (persamaan 2.12)}$$

$$\text{Performance Rate} = 186 \text{ M}^3/\text{jam} : 204 \text{ M}^3/\text{jam} \times 100\% = 76,46\%$$

#### IV.4 Analisa Kalor Pada Kondensor Tipe Shell And Tube

Perencanaan ini digunakan sebagai langkah awal untuk menganalisa komponen Alat pengolah sampah plastik dengan metode pirolisis, dengan asumsi:

Kapasitas mesin ala pengolah sampah plastik = 50kg/batch

Dengan ukuran kondenser tipe shell and tube sebagai berikut :

Dimensi Shell Ø 101.6mm

L 600mm

Dimensi Tube Ø100mm

L 550mm

n 30 tube

Berdasarkan analisis data dan pengukuran data awal kondisi operasi yang diberikan untuk alat penukar kalor kondensor tipe shell dan tube sebagai berikut:

1. Tekanan masuk 20.2 kpa

2. Tekanan keluar 20.2 kpa
3. Temperatur air masuk ( $T_{ci}$ ) 26 °C
4. Temperatur air keluar ( $T_{co}$ ) 40 °C
5. Temperatur uap sampah ( $T_{hi}$ ) 150 °C
6. Temperatur koondensasi sampah ( $T_{ho}$ ) 35 °C,
7. Laju aliran ( $\dot{m}_c$ ) 0,56 kg/s

Perhitungan perpindahan kalor yang diterima oleh aliran fluida air  
 Besarnya laju aliran fluida air yang ada di kondensor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$Q_c = \dot{m}_c \cdot c_{pc} (T_{co} - T_{ci}) \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.16})$$

Dan dari persamaan kesetimbangan energy, maka kalor yang diterima air dianggap sama dengan kalor yang dilepas air.

Sehingga  $Q_c = Q_h$  merupakan nilai perpindahan kalor aktual yang dilepaskan pada alat penukar kalor. .... (Persamaan 2.17)

Dimana :

$$\dot{m}_c = 0,56 \text{ kg/s}$$

$$T_{co} = 40 \text{ °C} = 313 \text{ K}$$

$$T_{ci} = 26 \text{ °C} = 299 \text{ K}$$

Kemudian, Sifat-sifat fisik fluida air (lihat tabel sifat-sifat fisik fluida air), yang dievaluasi pada temperatur 40 °C memberikan data :

$$P = 988 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{pc} = 4181 \text{ J/kg.K}$$

$$\mu = 548 \cdot 10^{-6} \text{ Ns/m}^2$$

$$k = 0.643 \text{ W/mK}$$

Maka diperoleh,

$$\begin{aligned} Q_c &= 0,56 \text{ kg/s} \times 4181 \text{ J/kg.K} \times (310 - 299) \text{ K} \\ &= 32779,04 \text{ J} \\ &= 32,77904 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Perhitungan perpindahan kalor yang dilepas uap sampah plastik

Sistem pendinginan yang dilakukan pada mesin pendingin dimana menggunakan fluida pendinginnya yaitu air. Laju aliran massa fluida pendingin pada *kondensor* yaitu 0,56 kg/s

Selanjutnya untuk menentukan besarnya laju perpindahan kalor yang dilepas uap sampah plastik pada alat penukar kalor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$Q_h = \dot{m}_h \cdot c_{ph} (T_{hi} - T_{ho}), \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.18})$$

Kemudian, Dari data sifat-sifat fisik plastik (tabel sifat-sifat fluida hidrokarbon) yang dievaluasi pada temperatur ( $T_{ho}$ ) 35 °C diperoleh harga  $c_{ph} = 2550 \text{ J/kgK}$ . Sehingga:

$$\dot{m}_h = Q_h / c_{ph} \cdot (T_{hi} - T_{ho}), \dots\dots\dots (\text{Persamaan 2.19})$$

Dimana,

$$Q_c = Q_h = 32779,04 \text{ J} = 32,77904 \text{ kJ}$$

$$T_{hi} = 150 \text{ °C} = 423 \text{ K}$$

$$T_{ho} = 35 \text{ °C} = 308 \text{ K}$$

$$c_{ph} = 2550 \text{ J/kg K}$$

Maka diperoleh, , .... (Persamaan 2.19)

$$\begin{aligned} \dot{m}h &= Qh/cph. (Thi-Tho) \\ &= 32779,04 \text{ J} / 2550 \text{ J/kg K} \times (423 \text{ K} - 308 \text{ K}) \\ &= 0,11178 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$\dot{m}h$  merupakan laju aliran perpindahan kalor yang dilepas dan  $Qh$  merupakan energi yang dikeluarkan oleh alat penukar kalor ( $Q_{out}$ ).

#### IV.5 Analisa Kalor yang dibutuhkan Tangki Pyrolisis

Perencanaan ini di buat sebagai langkah awal untuk menentukan kapasitas sampah plastik yang akan di pirolisis dengan metode pemanasan tangki oleh burner, maka dari itu di butuhkan total kalori dari burner untuk memanaskan tangki hingga dapat memperoleh kapasitas 2 kg sampah plastik per satu kali percobaan dengan perbandingan sampah 1:1 yang akan di pirolisis.

Data yang dibutuhkan berupa kalor spesifik dan nilai kalor yang terkandung pada sampah plastik untuk perhitungan nilai kalor yang dibutuhkan pada tangki pirolisis.

Tabel 1.6 List Kalor Spesifik dan Nilai Kalor yang terkandung

Jenis sampah	%	Kalor spesifik (kJ/kg)	Nilai kalor (KJ/kg)
Sampah makanan	68,70	4.170	2.864,79
Aneka kertas	6,30	17.530	1.104,39
Kaca/ gelas	3,10	-	-
Plastik	11,60	17.910	2.077,56
Logam	0,90	-	-
Kayu	2,50	19.940	498,5
Kain/ tekstil	3,30	17.720	584,76
Karet	2,10	26.230	550,83
Baterai	0,10	-	-
Lain-lain	1,40	-	-

Sumber: Wiradarma (2002)

Suhu tabung sebelum pembakaran atau temperatur ruang pada tabung memiliki suhu sebesar  $T_0 = 27^\circ\text{C}$



Gambar 1.5. Suhu pada tabung pirolisis sebelum pembakaran

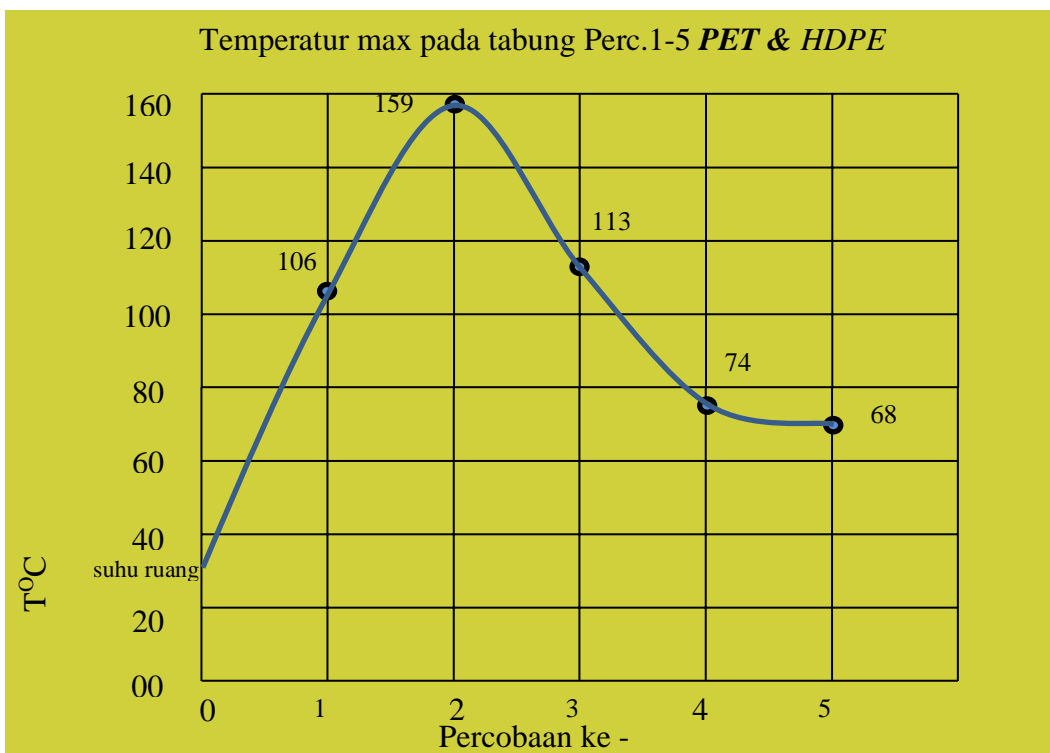
#### IV.5.1 Kalor Yang Dibutuhkan Pada Perbandingan Plastik *PET & HDPE*

Data yang didapat dari percobaan 1 sampai 5 diambil temperatur tertinggi dari setiap percobaan untuk menghitung nilai kalor untuk menguapkan sampah plastik. Bahan baku yang digunakan adalah sampah plastik *PET & HDPE* dalam pengolahan sampah plastik menjadi bahan bakar kompor minyak.

Tabel 1.7 Temperatur maksimal di percobaan *PET & HDPE*

No	Diwaktu	Bahan	Perc. ke	Temperatur max
1	110 min	<i>PET &amp; HDPE</i>	1	106 <sup>0</sup> C
2	110 min	<i>PET &amp; HDPE</i>	2	159 <sup>0</sup> C
3	30 min	<i>PET &amp; HDPE</i>	3	113 <sup>0</sup> C
4	40-70 min	<i>PET &amp; HDPE</i>	4	74 <sup>0</sup> C
5	90 min	<i>PET &amp; HDPE</i>	5	68 <sup>0</sup> C

Dengan melihat dari Gambar 4.213. temperatur maksimal dari setiap percobaan dengan variasi temperatur dan waktu menuju temperatur maksimal yang berbeda karena kita tidak bisa menyetel temperatur sumber yaitu burner. Temperatur maksimal akan menjadi  $T_1$ .



Gambar 1.6. Grafik suhu terhadap waktu perc. Ke1-5 *PET & HDPE*

### 1. Kalor Yang terjadi Pada Tabung Pirolisis Untuk Menguapkan Sampah Plastik *PET & HDPE* Percobaan 1 *PET & HDPE*

Dengan asumsi :

Total Berat sampai : 2 kg

Dimensi Tangki : a. T : 1000mm

b. t : 3mm

c. Ø : 600mm

Bahan Tangki : Plat baja Karbon

Rumus Total beban Kalor :

Rumus:

$$Q = m \times c \times \Delta t \quad \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.13)}$$

dengan ketentuan:

- a)  $Q$  = kalor yang diterima suatu zat (Joule)
- b)  $m$  = massa zat (Kilogram)
- c)  $c$  = kalor jenis zat (Joule/kilogram.K)
- d)  $\Delta t$  = perubahan suhu (K)  $\rightarrow (t_2 - t_1)$

Maka, :

$$Q = m \times c \times \Delta t \quad \dots\dots\dots \text{(persamaan 2.13)}$$

$$T_1 = 27^\circ\text{C} = 27+273 \text{ K} = 300 \text{ K (Gambar 4.212.)}$$

$$T_2 = 106^\circ\text{C}+273 \text{ K} = 379 \text{ K (Tabel 4.24)}$$

$$\Delta t = (t_2 - t_1) = 379 \text{ K} - 300 \text{ K} = 79 \text{ K}$$

Kalor jenis zat plastik berdasarkan tabel 4.23

$$C = 17,910 \text{ kJ/kg.K}$$

$$Q = m \times c \times \Delta t$$

$$Q = 2 \text{ kg} \times 17,910 \text{ kJ/kg.K} \times 79 \text{ K}$$

$$Q = 2829,78 \text{ kJ}$$

#### IV.5.2 DATA PENELITIAN

Data yang didapat dari pengolahan sampah metode pirolisis dengan 3 perbandingan sampah dengan massa setiap perbandingan adalah 2 kg didapat data dari alat pengolah sampah metode pirolisis. Data yang disajikan berupa hasil minyak, residu sisa pembakaran dan kalor yang terjadi pada tabung pirolisis untuk penguapan sampah plastik .

Setelah dihitung dengan perhitungan yang sama maka didapat data data berikut :

Tabel 1.8 Data hasil percobaan

No	Perc ke-	Bahan 2 kg	minyak	residu	Kalor untuk penguapan bahan
1	1	PET & HDPE	0,15 Liter	1,235 kg	2829,78 kJ
2	2	PET & HDPE	0,74 Liter	1,235 kg	4728,24 kJ
3	3	PET & HDPE	0,37 Liter	1,235 kg	3080,52 kJ
4	4	PET & HDPE	0,13 Liter	1,235 kg	1683,54 kJ
5	5	PET & HDPE	0,11 Liter	1,235 kg	1468,62 kJ
6	1	PET & LDPE	0,47 Liter	0,525 kg	4119,3 kJ
7	2	PET & LDPE	0,51 Liter	0,475 kg	4334,22 kJ
8	3	PET & LDPE	0,36 Liter	0,425 kg	4226,76 kJ
9	4	PET & LDPE	0,44 Liter	0,6 kg	5014,8 kJ
10	5	PET & LDPE	0,5 Liter	0,475 kg	4477,5 kJ
11	1	PET & PS	0,36 Liter	0,3 kg	4119,3 kJ
12	2	PET & PS	0,31 Liter	0,375 kg	3904,38 kJ
13	3	PET & PS	0,45 Liter	0,525 kg	3976,02 kJ
14	4	PET & PS	1,1 Liter	0,925 kg	4262,58 kJ
15	5	PET & PS	1,17 Liter	0,6 kg	4155,12 kJ

#### V. Kesimpulan

Berdasarkan analisa kalor pada pengujian alat pengolah sampah plastik dengan metode pirolisis dengan perbandingan sampah plastik , maka dapat disimpulkan :

1. Data yang didapat dari percobaan PET & HDPE didapatkan hasil minyak dan juga kalor yang didapat dari percobaan ke 1 sampai 5 . Pada perc. Ke-1 minyak yang didapat 0,15 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 2829,78 kJ . pada perc. Pada perc. Ke-2 minyak yang



- didapat 0,74 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 2829,78 kJ . Pada perc. Ke-3 minyak yang didapat 0,74 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 2829,78 kJ. Pada perc. Ke-4 minyak yang didapat 0,74 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 2829,78 kJ . Pada perc. Ke-5 minyak yang didapat 0,74 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 2829,78 KJ.
2. Data yang didapat dari percobaan *PET & LDPE* didapatkan hasil minyak dan juga kalor yang didapat dari percobaan ke 1 sampai 5 . Pada perc. Ke-1 minyak yang didapat 0,47 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 4119,3 kJ. pada perc. Pada perc. Ke-2 minyak yang didapat 0,51 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 4334,22 kJ. Pada perc. Ke-3 minyak yang didapat 0,36 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 4226,76 kJ. Pada perc. Ke-4 minyak yang didapat 0,44 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 5014,8 kJ. Pada perc. Ke-5 minyak yang didapat 0,5 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 4477,5 KJ.
  3. Data yang didapat dari percobaan *PET & PS* didapatkan hasil minyak dan juga kalor yang didapat dari percobaan ke 1 sampai 5 . Pada perc. Ke-1 minyak yang didapat 0,36 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 4119,3 kJ. pada perc. Pada perc. Ke-2 minyak yang didapat 0,31 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 3904,38 kJ. Pada perc. Ke-3 minyak yang didapat 0,45 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 3976,02 kJ. Pada perc. Ke-4 minyak yang didapat 1,1 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 4262,58 kJ. Pada perc. Ke-5 minyak yang didapat 1,17 Liter dan Kalor untuk penguapan bahan 4155,12 kJ
  4. Laju perpindahan kalor yang dilepas uap sampah plastik pada *heat exchanger type shell and tube* pada alat pengolahan sampah metode *pyrolysis* dari perbandingan tipe sampah *PET & HDPE*, *PET & LDPE*, dan *PET & PS* dengan perbandingan 1:1 yang didapat melalui proses perhitungan di bab 4 adalah = 0,11178 kg/s
  5. *Performance* pompa pendingin pada alat pengolahan sampah metode *pyrolysis* dari perbandingan tipe sampah *PET & HDPE*, *PET & LDPE*, dan *PET & PS* dengan perbandingan 1:1 yang didapat melalui proses perhitungan di bab 4 76,41 %
  6. *Performance* pada *cooling tower* dan daya pompa pendingin pada alat pengolahan sampah metode *pyrolysis* dari perbandingan tipe sampah *PET & HDPE*, *PET & LDPE*, dan *PET & PS* dengan perbandingan 1:1 yang didapat melalui proses perhitungan di bab 4 adalah 76,46 %
  7. Minyak dari hasil percobaan diperuntukan untuk UMKM menjadi bahan bakar alternatif berupa minyak tanah untuk pengganti GAS LPG yang relatif mahal.

## Ucapan terima kasih

Pekerjaan ini didukung oleh hibah Universitas Muhammadiyah Jakarta dan Universitas Muhammadiyah Pontianak

## Referensi

- [1] Ademiluyi T. , Thomas Ayotunde Adebayo “Fuel gases from pyrolysis of waste Polyethylene sachets” , 2000., hal 1.
- [2] Rahmad, Suhartoyo. dengan judul “Pemanfaatan limbah plastik sebagai energy alternatif” 2018, hal 1.
- [3] Cahya Sutowo .“Analisa *Heat Exchanger* jenis *Shell and tube* dengan sistem *single pass*” . 2010, hal 1.
- [4] Chengel, Yunus A, “Heat Transfer”,McGraw-Hill, New York, 2007
- [5] Dean A Barlet (1996) di dalam I. Bizzy, R. Setiadi. “Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor *Type Shell and Tube* Dengan Program HTRI” 2013, hal 2.

- [6] Dr. Eng. Jenny Rizkiana, S.T., M.T. 2015 . di dalam Prayogo Y. “Perencanaan Dan Pembuatan Alat Pengolah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Kompor Minyak Dengan Metode *Pyrolysis* Berkapasitas 50 Kilogram Per *Batch*” ,.2019, hal 7
- [7] Holman, J P. “Perpindahan Kalor” Terjemahan Ir. E Jasjfi, Msc, Jakarta, Erlangga, 1984
- [8] <https://arumaarifu.wordpress.com/2010/02/05/apa-itu-pirolisis/>
- [9] <https://bulelengkab.go.id/detail/artikel/dampak-plastik-terhadap-lingkungan-88>
- [10] <https://dosengeografi.com/pengertian-sampah-plastik/>
- [11] <https://saintif.com/sampah-plastik-menjadi-bbm/#>
- [12] <https://waste4change.com/7-types-plastic-need-know/2/>
- [13] <https://www.bps.go.id/publication/2018/12/07/d8cbb5465bd1d3138c21fc80/statistik-lingkungan-hidup-indonesia-2018.html>
- [14] I. Bizzy, R. Setiadi. “Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor *Type Shell and Tube* Dengan Program HTRI” 2013, hal 1.
- [15] Incropera, Frank P., dan Dewitt, David P., “Fundamental of Heat and Mass Transfer”, 4th Edition, John Wiley and Sons, UnitedStates of America, 1996
- [16] Jenny Rizkiana, Slamet Handoko, Winny Wulandari, Muhammad Afif Ridha, Hendi Aviano Prasetyo and Dwiwahju Sasongko “Hybrid Coal: Effects Of Composition And Co-pyrolysis Retention Time in Low Rank Coal and Biomass Waste Co-pyrolysis Process on The Product’s Yield”, 2018
- [17] Kern, Donald Q. “Process Heat Transfer”, McGraw-Hill International, New York, 1965
- [18] Lienhard, John H, “Heat Traansfer”. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1987
- [19] M. Akhsan faizin , “Rancang bangun mesin *chruser* limbah sampah plastik untuk proses *pirolisis* kapasitas 120 kg/jam” ,2017, hal 1
- [20] Muchammad, “Analisis Pemanfaatan Limbah Sampah Plastik Jenis Polypropylene Menjadi Bahan Bakar Alternatif” 2018 ,hal 1.
- [21] Perry, Robert H., dan Green, Don W, “Perry’s Chemical Engineers’ Hand Book, 7th Edition, McGraw-Hill, United states of Amerika, 1997.
- [22] Prayogo Y. “Perencanaan Dan Pembuatan Alat Pengolah Sampah Plastik Menjadi Bahan Bakar Kompor Minyak Dengan Metode *Pyrolysis* Berkapasitas 50 Kilogram Per *Batch*” ,.2019. , hal 1-7.
- [23] Qonita Rachmawati, Welly Herumurti , “Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik” 2015, hal 1.
- [24] Rudy Yoga Lesmana, Nani Apriyani . “Sampah Plastik Sebagai Potensi dalam Pembuatan Bahan Bakar Minyak”, 2019. , hal 1.
- [25] Status Lingkungan Hidup Daerah (SLHD) Ibu Kota Jakarta (2013),
- [26] Windarta, Gunawan Hidayat, Alvin Chaerudin , “Rancang bangun mesin daur ulang limbah botol plastik *HDPE* menjadi gagang pintu kapasitas 1 kg/jam” ,2018, hal 1.
- [27] [www.bps.go.id](http://www.bps.go.id)
- [28] Yuspian Gunawan, La Karimuna, Ridway Balaka, Budiman Sudia, La Ode Magribi, Lukas Kano Mangalla, Kadir Kadir, Abd Kadir, Nasrul Nasrul, “Energi terbarukan dari sampah plastik di tpa puuwatu dengan memanfaatkan teknologi pirolisis guna mendukung masyarakat mandiri energi di kota kendari”, 2018, hal 1.
- [29] Ahmad yunus nasution, Gunawan Hidayat, Abdurra’uf Ibnu Sabio, “Analysis Of Biogas Pressure Based On Mass Variation Of Raw Material Using 150 L / Tank Digester Capacity”, 2020, hal 1-5.

## Informasi penulis

### Pertama

#### Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Ahmad Yunus Nasution ST. MT.
2	Jenis Kelamin	L
3	Program Studi	Teknik Mesin
4	NIP/NIDN	03048602
5	Tempat dan Tanggal Lahir	Padangsidempuan, 6 April 1986
6	Alamat E-mail	<a href="mailto:Ahmad.yunus@ftumj.ac.id">Ahmad.yunus@ftumj.ac.id</a>
7	Nomor Telepon/HP	082310351450