

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada penelitian ini, sampah yang digunakan untuk proses pirolisis adalah plastik bungkus mie instan. Hampir semua bungkus plastik mie instan didapat dari warung burjo yang ada di sekitar kampus Universitas Islam Indonesia. Plastik mie instan yang diperoleh masih tercampur dengan sampah lainnya, sehingga harus dilakukan pemilahan dan pembersihan hingga tidak ada pengotor yang tersisa pada plastik. Plastik mie instan yang telah dipilah kemudian dicuci dan dikeringkan. Setelah kering kemudian plastik mie instan dipotong dengan ukuran kurang lebih 3×3 cm dan diusahakan seseragam mungkin sehingga dapat mengurangi variabel yang tidak diinginkan ikut masuk ke dalam proses pirolisis.

Proses pirolisis menggunakan abu vulkanik gunung Merapi sebagai katalis. Abu vulkanik yang digunakan adalah abu yang telah tercampur dengan tanah dan pasir disekitar gunung merapi, sehingga harus dilakukan penyaringan untuk mendapatkan pasir yang diharapkan memiliki kandungan silika yang. Abu yang telah didapat mendapat perlakuan aktifasi sebelum dapat digunakan sebagai katalis pirolisis. Menurut penilitan yang dilakukan Jonathan (2003), larutan basa yang terbaik digunakan adalah $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dibandingkan dengan NaOH dan KOH . Berdasarkan penelitian tersebut, penelitian ini menggunakan larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebagai aktifator abu vulkanik Merapi.

4.2 Studi Pendahuluan

Pada tahun 2017 penelitian ini telah dilakukan dengan menggunakan dana yang berasal dari Pekan Kreatifitas Mahasiswa dibidang penelitian (PKM-PE). Penelitian yang dilakukan pada saat itu adalah pirolisis sampah plastik HDPE dari tas plastik

kantung berwarna hitam. Variabel yang digunakan adalah perbedaan konsentrasi pada larutan basa yang digunakan sebagai katalis. Konsentrasi larutan yang digunakan antara lain tanpa menggunakan katalis, katalis 1 M, katalis 2 M, dan katalis 3 M. Selain itu penelitian yang dilakukan sebelumnya hanya berorientasi pada hasil sehingga hanya memiliki data densitas, berat total yang didapat, volume total yang didapat, nilai kalor, dan titik nyala. Berikut adalah tabel hasil akhir dari penelitian tersebut

Tabel 4.1 Hasil Akhir Penelitian Pirolisis Tahun 2017

No	Konsentrasi Katalis	Nilai Kalori	Densitas	Viscositas	Berat produk	Volume Produk
		(kal/gram)	(gram/cm ³)	(cp)	(gram)	(ml)
1	Tanpa Katalis	7796,91	0,7800	148	168,29	215,76
2	Katalis 1 M	8124,86	0,7637	11,25	202,2	264,76
3	Katalis 2 M	7798,42	0,7691	114,58	181,33	235,78
4	Katalis 3 M	8004,71	0,7674	75	212,95	277,48

Secara menyeluruh, hasil yang terbaik dicapai oleh pirolisis kedua dengan katalis 1 M. Nilai kalori yang didapat pada pirolisis tersebut mendapati nilai tertinggi dengan nilai 8124,86 kal/gram. Nilai densitas yang didapat memiliki nilai 0,7637 gram/cm³ yang mendekati dengan nilai densitas bahan bakar bensin. Viskositas yang didapat memiliki nilai terkecil yaitu 11,25 cp di mana nilai tersebut menunjukkan bahwa yield tersebut lebih encer dari semua hasil pirolisis yang didapat dan lebih dapat diaplikasikan pada kendaraan bermotor. Sementara berat dan volume menempati posisi kedua dengan berat 202,2 gram dan volume 264,76 ml.

Secara menyeluruh hasil yang didapat tidak sesuai dengan teori karena cukup fluktuatif. Pirolisis dengan menggunakan katalis 1 M mendapatkan hasil yang lebih baik dari pada pirolisis tanpa katalis. Akan tetapi pirolisis ke tiga dengan katalis 2 M malah mendapat hasil yang kurang baik dan hasilnya dibawah pirolisis ke dua dengan katalis 1 M. Sementara itu hasil pirolisis ke empat dengan katalis 3 M mendapat hasil yang cukup baik meski hasil yang didapat tidak sebaik pirolisis ke dua dengan katalis 1 M. Jika kembali disesuaikan dengan teori, seharusnya nilai yang didapat akan semakin baik dari pirolisis tanpa katalis hingga pirolisis terakhir dengan katalis 3 M.

Pada penelitian tersebut dapat memahami bahwa masih banyak faktor yang dapat mempengaruhi hasil yang didapat. Faktor yang dapat mempengaruhi hasil pirolisis antara lain adalah sebagai berikut:

1. Pada suhu berapa dimulai pirolisis
2. Kecepatan air pada kondensor
3. Keseragaman jenis sampah yang dimasukkan
4. Keseragaman bentuk sampah yang dimasukkan
5. Ukuran katalis
6. Penempatan katalis

Meski demikian, penelitian tersebut dapat menyimpulkan bahwa penggunaan katalis $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan konsentrasi larutan 1 M merupakan konsentrasi optimum untuk aktivasi katalis pirolisis. Sehingga larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dengan konsentrasi 1 M digunakan kembali pada penelitian berikutnya yang dijadikan tugas akhir. Pada penelitian yang dijadikan tugas akhir ini melakukan uji variabel pada berat katalis dan menutup faktor-faktor yang tidak diinginkan yang dapat mempengaruhi hasil pirolisis.

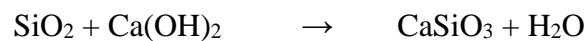
4.3 Hasil Pirolisis

Hasil yang didapat pada proses pirolisis yang dilakukan cukup baik. Jika dilihat secara kasat mata memiliki hasil yang akan semakin jernih. Setelah itu hasil pirolisis akan diuji untuk mengetahui nilai kalor, viskositas, densitas, dan titik nyala yang dimiliki.



Gambar 4.2 Perbedaan Hasil Pirolisis Semakin Bening (dari kiri ke kanan)

Hasil pirolisis yang didapat pada penelitian ini semakin jernih seiring dengan penambahan jumlah katalis yang digunakan. Selain itu warna yang semakin cerah menunjukkan bahwa nilai densitasnya semakin ringan. Komponen terbesar dalam abu vulkanik yang digunakan adalah silika dimana silika ini memiliki peran penting sebagai katalis pirolisis. Reaksi yang terjadi jika ditinjau pada komponen silika saja adalah sebagai berikut:

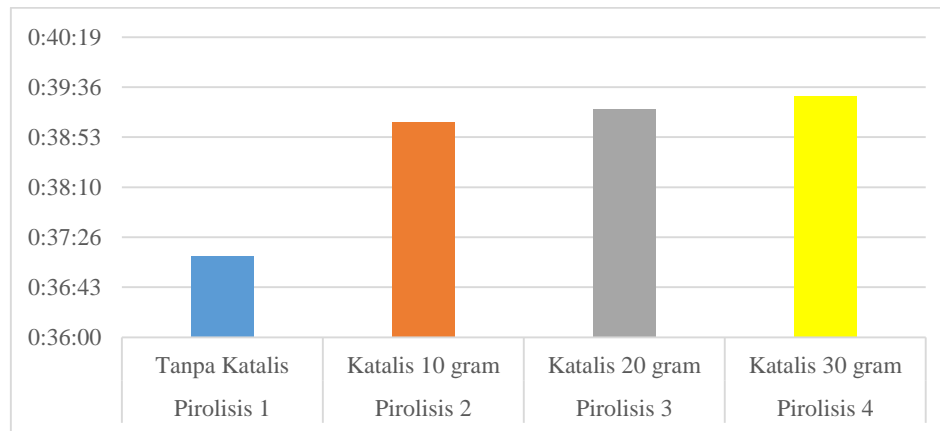


Hasil reaksi berupa CaSiO_3 yang bernama Wollastonit atau biasa disebut kalsium inosilikat. Kalsium inosilikat memiliki luas permukaan yang besar dan dapat digunakan sebagai absorben. Peningkatan luas permukaan inilah yang berperan dalam katalis pirolisis. Penggunaan katalis ini menunjukkan adanya peningkatan pada kualitas yang didapat. Sementara pada kuantitas mengalami penurunan karena pengaruh alat pirolisis yang digunakan yang akan dibahas pada subbab berikutnya (Anonim, 2018).

4.3.1 Waktu Proses Pirolisis

Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses pirolisis cukup beragam tergantung dari jenis bahan, banyaknya bahan yang akan digunakan, suhu maksimal yang digunakan, dan penggunaan katalis. Pada pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan perbedaan waktu berdasarkan katalis yang digunakan sehingga suhu,

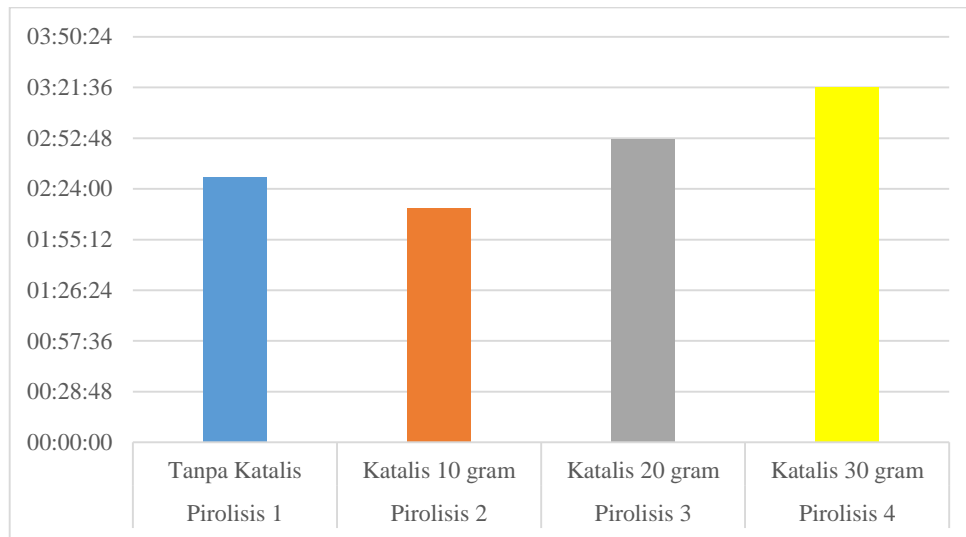
jenis, dan jumlah bahan diberikan nilai dan perlakuan yang sama. Hasil yang didapat untuk waktu ketika pertama kali menetes adalah sebagai berikut



Gambar 4.3 Perbandingan Waktu Tetesan Pertama Pada Proses Pirolisis

Secara teori, katalis berfungsi untuk meningkat efisiensi serta meningkatkan kualitas dan kuantitas yang didapat dalam suatu proses. Akan tetapi pada proses pirolisis yang dilakukan katalis tidak diletakan bersama plastik mie instan yang dipirolisis tetapi dipisahkan pada kolom tersendiri. Dapat dilihat bahwa dengan menggunakan katalis waktu yang dibutuhkan untuk pertama kali menetes akan semakin lama. Meningkatnya waktu yang yang dibutuhkan untuk menetes dipengaruhi oleh jumlah katalis dan volumenya yang cukup rapat sehingga memperlambat asap untuk mencapai kondensor hingga akhirnya dapat menetes.

Tidak hanya waktu pertama menetesnya saja yang bertambah lama, tetapi waktu yang dibutuhkan untuk waktu pirolisis selesai juga ikut bertambah. Hal ini diduga masih disebabkan oleh alasan yang sama yakni rapatnya volume kolom katalis karena banyaknya jumlahnya katalis yang berada dalam kolom. Proses pirolisis akan dihentikan ketika sudah tidak ada tetesan yang keluar dari mulut kondensor. Waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pirolisis dapat dilihat pada diagram berikut:



Gambar 4.4 Perbandingan Waktu Total Proses Pirolisis

Waktu yang dibutuhkan untuk pirolisis tanpa katalis lebih lama dibandingkan dengan yang menggunakan katalis 10 gram. Hal tersebut dapat terjadi karena tidak ada reaksi yang terjadi dengan katalis sehingga hasil keluar tanpa residu yang tertinggal. Sementara itu pirolisis dengan katalis akan meninggalkan cairan hasil pirolisis pada kolom katalis yang tidak cukup panas untuk menguapkan hingga keluar kondensor.

4.3.2 Perbandingan Berat dan Volume Awal

Pada penggunaan katalis diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan kuantitasnya. Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan katalis dapat memberikan kuantitas yang lebih banyak pada saat pertama bereaksi di periode pertama. Hal tersebut terlihat lebih jelas jika hanya membandingkan antara pirolisis tanpa katalis dengan pirolisis dengan katalis 10 gram.

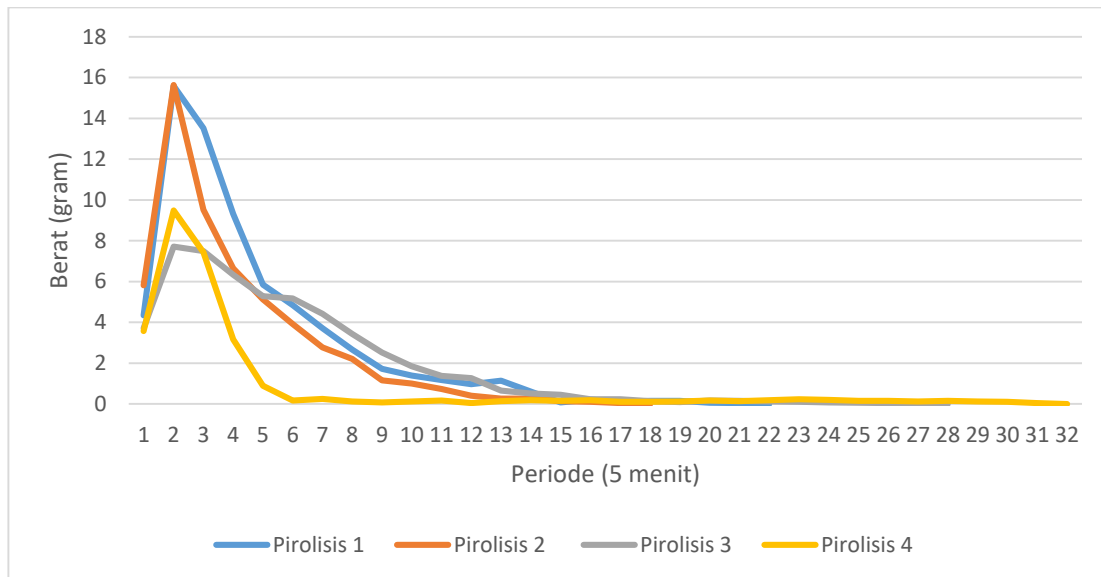
Pirolisis 1 tanpa katalis mendapatkan berat awal sebesar 4,34 gram dan Pirolisis 2 dengan katalis 10 gram mendapatkan berat 5,81 gram. Sementara Pirolisis 3 dengan katalis 20 gram dan pirolisis 4 dengan katalis 30 gram mendapati berat yang lebih ringan dibandingkan dua pirolisis sebelumnya. Menurut Uddin (1997) penggunaan katalis akan meningkatkan kuantitasnya karena peningkatan efisien pada proses pirolisis akan menghasilkan potongan rantai karbon yang lebih banyak. Akan tetapi

pada penelitian ini katalis berada pada kolom yang berbeda pada objek yang dipirolisis sehingga katalis tidak ikut langsung dalam pemotongan rantai karbon. Selain itu variasi pada volume katalis menyebabkan banyak cairan akan terhambat sebelum akhirnya menetes melalui kondensor.

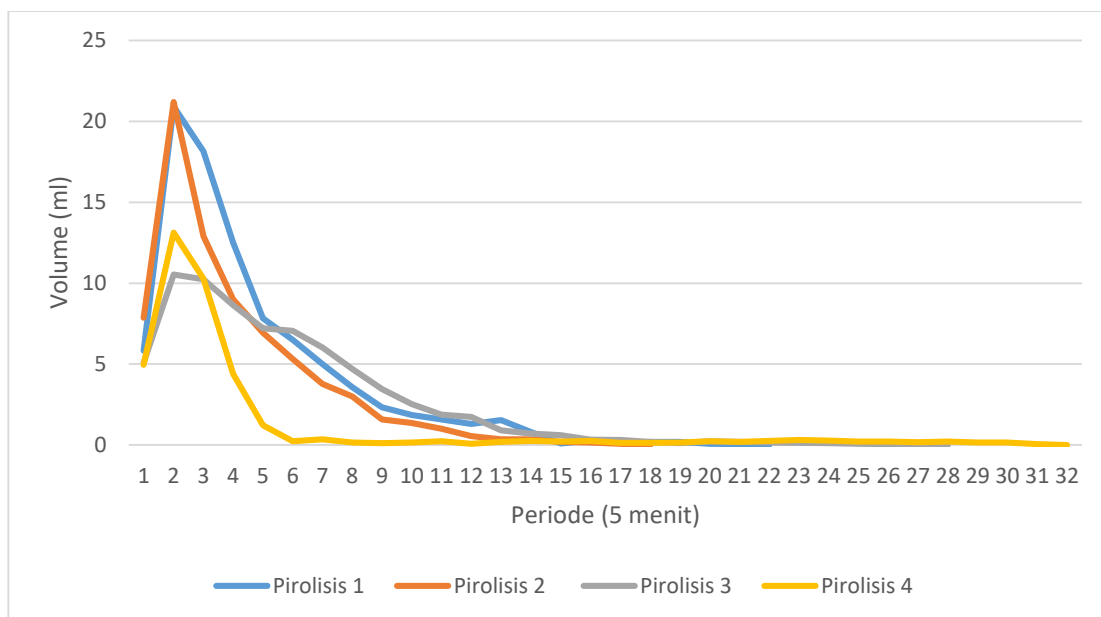
Hal yang sama juga terjadi pada volume pertama yang dihasilkan. Karena pada penelitian ini volume didapatkan ketika nilai densitas telah didapatkan. Pirolisis 1 menghasilkan 5,82 ml; pirolisis 2 menghasilkan 7,87 ml; pirolisis 3 menghasilkan 5,08 ml; dan pirolisis 4 menghasilkan 4,96 ml pada periode awal pirolisis.

4.3.3 Perbandingan Berat dan Volume Puncak

Pada penelitian ini dapat diketahui titik puncak ketika pirolisis menghasilkan cairan. Untuk mengetahui perbedaan berat dan volume disetiap waktunya maka akan dihitung dalam setiap periode di mana lamanya satu periode adalah 5 menit. Pada penelitian ini mendapati perbandingan titik puncak yang cukup fluktuatif. Dapat dilihat pada gambar 4.5 di mana semua proses pirolisis mengalami titik puncak pada periode ke dua atau 10 menit setelah pirolisis pertama menetes. Berat yang didapat pada titik puncak untuk pirolisis 1 seberat 15,58 gram; pirolisis 2 seberat 15,64 gram; pirolisis 3 seberat 7,71 gram; dan pirolisis 4 seberat 9,48 gram. Sementara itu hasil yang didapat untuk volume pada titik puncak pirolisis 1 sebanyak 20,9 ml; pirolisis 2 sebanyak 21,19 ml; pirolisis 3 sebanyak 10,53 ml; dan pirolisis 4 sebanyak 13,12 ml. Untuk melihat lebih jelas titik puncak yang didapat, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.5 Perbandingan Berat Setiap Periode



Gambar 4.6 Perbandingan Volume Setiap Periode

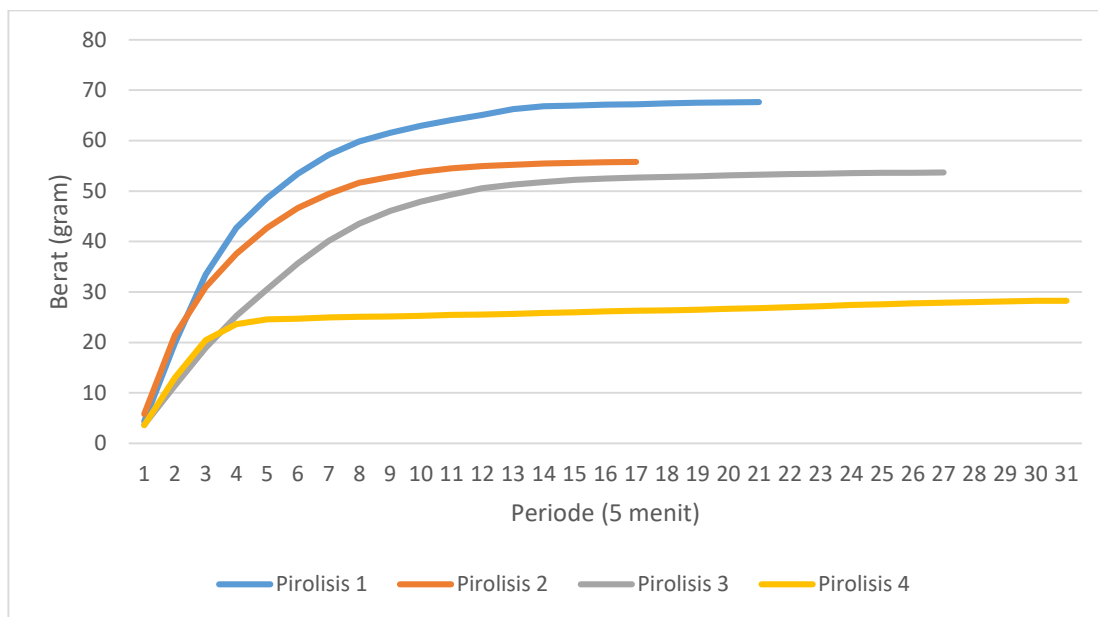
Secara umum semua variabel yang diterapkan pada proses pirolisis telah diterapkan untuk setiap proses. Penggunaan katalis 10 gram pada pirolisis 2 memberikan berat dan volume puncak yang lebih tinggi dibandingkan dengan pirolisis 1 yang tidak menggunakan katalis. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan

katalis dapat meningkatkan berat maupun volume minyak pirolisis yang dihasilkan. Akan tetapi dikarenakan adanya ketidaksesuaian volume kolom katalis dengan volume katalis pada pirolisis 3 dan 4 menyebabkan tekanan yang dibutuhkan oleh gas hasil pirolisis kurang kuat, alhasil minyak pirolisis tersumbat pada kolom katalis. Dengan demikian cairan pirolisis yang dihasilkan tidak sesuai teori karena banyak yang tertinggal di kolom katalis. Selain karena minyak pirolisis tersumbat di dalam kolom katalis, adanya perbedaan *trend* pada pirolisis 3 dan pirolisis 4 diperkirakan karena adanya perbedaan aktifitas pemotongan rantai karbon pada proses pirolisis yang menggunakan katalis. Katalis dalam proses pirolisis berfungsi untuk memecah (*cracking*) rantai hidrokarbon yang panjang menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek (C₁-C₅) (Scheirs dan Kaminsky, 2006) dalam (Danarto 2010).

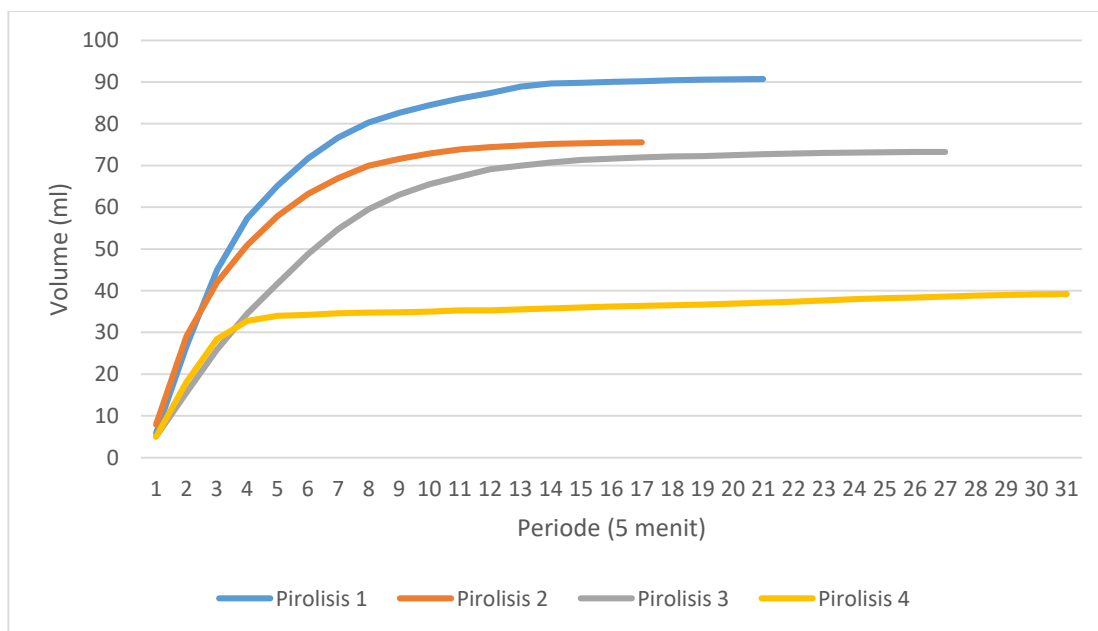
Dalam penelitian oleh Xingzhong (2006) menjelaskan bahwa salah satu mekanisme yang terjadi adalah pemotongan rantai polimer secara acak sehingga akan sulit mengetahui sampai mana pemotongan tersebut terjadi.

4.3.4 Perbandingan Berat dan Volume Akhir

Hasil akhir proses pirolisis ini adalah berupa berat cairan. Berat yang didapat semakin ringan seiring dengan bertambahnya jumlah katalis. Penggunaan katalis diharapkan dapat meningkatkan kualitas dan kuantitasnya. Akan tetapi pada hasil yang didapat kuantitas yang didapat lebih sedikit. Berat akhir pada pirolisis pertama seberat 67,64 gram; pirolisis kedua seberat 55,76 gram; pirolisis ketiga seberat 53,66 gram dan pirolisis keempat seberat 28,29 gram. Sementara itu hasil akhir volume yang didapat adalah sebesar 90,75 ml; pirolisis kedua sebesar 75,54 ml; pirolisis ketiga sebesar 73,27ml; dan pirolisis keempat sebesar 39,16 ml. Perbandingan dapat dilihat pada grafik berikut:



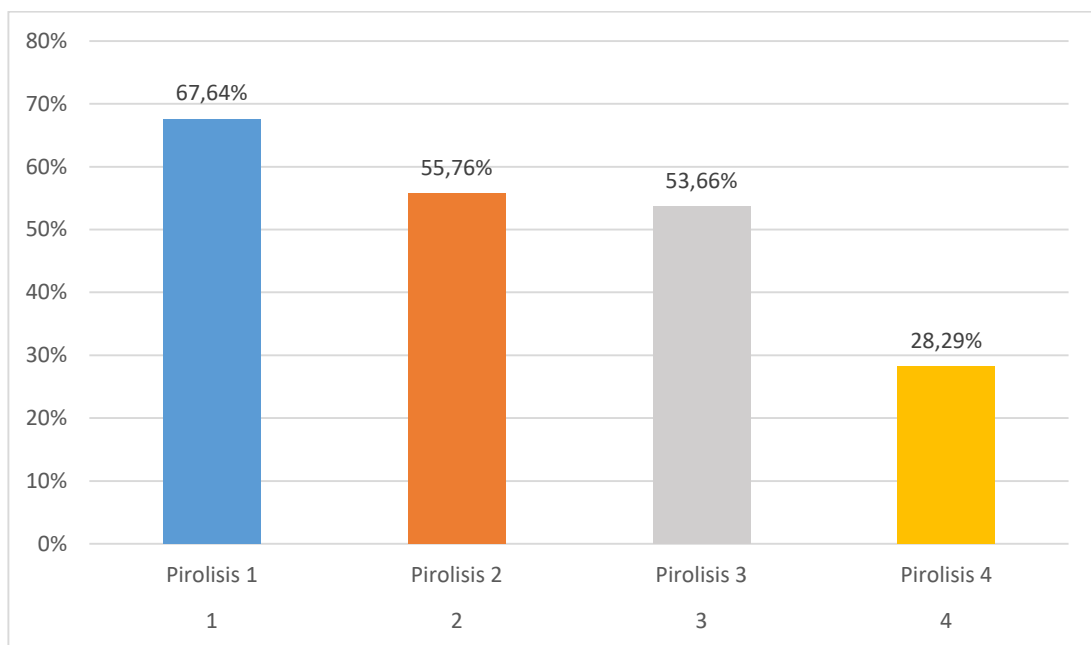
Gambar 4.7 Perbandingan Pertambahan Berat



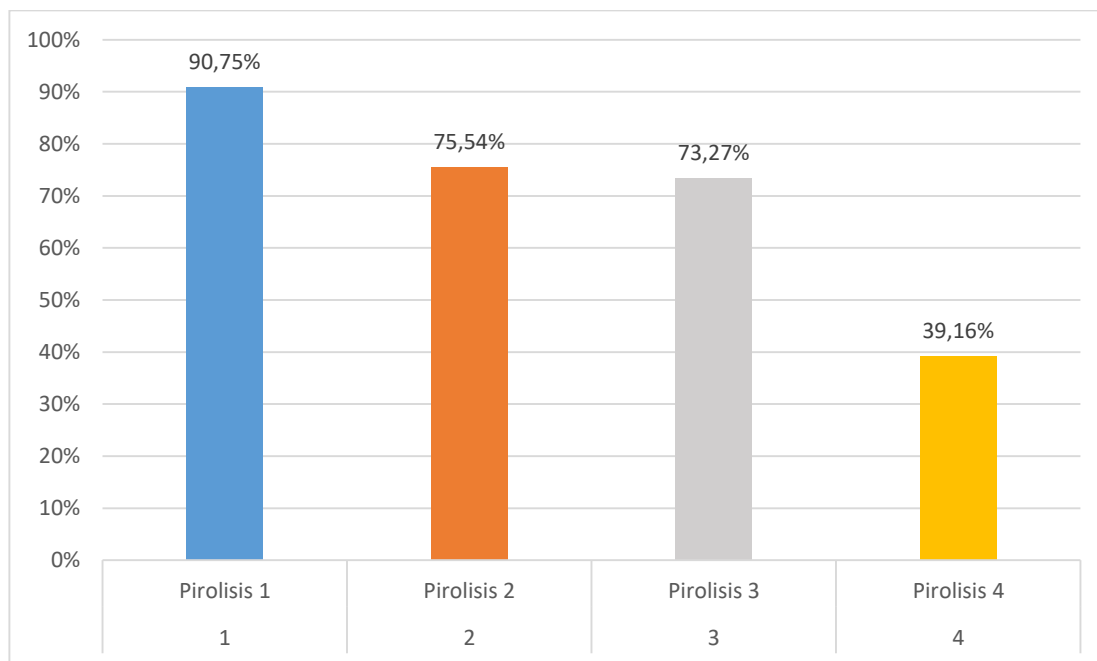
Gambar 4.8 Perbandingan Pertambahan Volume

Pada penelitian ini, berat sampah plastik mie instan yang digunakan pada setiap pirolisis adalah sebesar 100 gram. Jika berat sampah plastik mie instan dibandingkan dengan berat hasil pirolisis maka pirolisis pertama akan mendapatkan nilai persentase

sebesar 67,64 %; pirolisis kedua sebesar 55,76%; pirolisis ketiga sebesar 53,66%; dan pirolisis keempat sebesar 28,29%. Sementara itu jika berat sampah plastik mie instan dibandingkan dengan volume yang dihasilkan maka akan terlihat lebih banyak karena densitasnya lebih kecil dari pada air. Pirolisis pertama mendapatkan persentase berat sebesar 90,75%; pirolisis kedua sebesar 75,54%; pirolisis ketiga sebesar 73,27%; dan pirolisis keempat sebesar 39,16%.

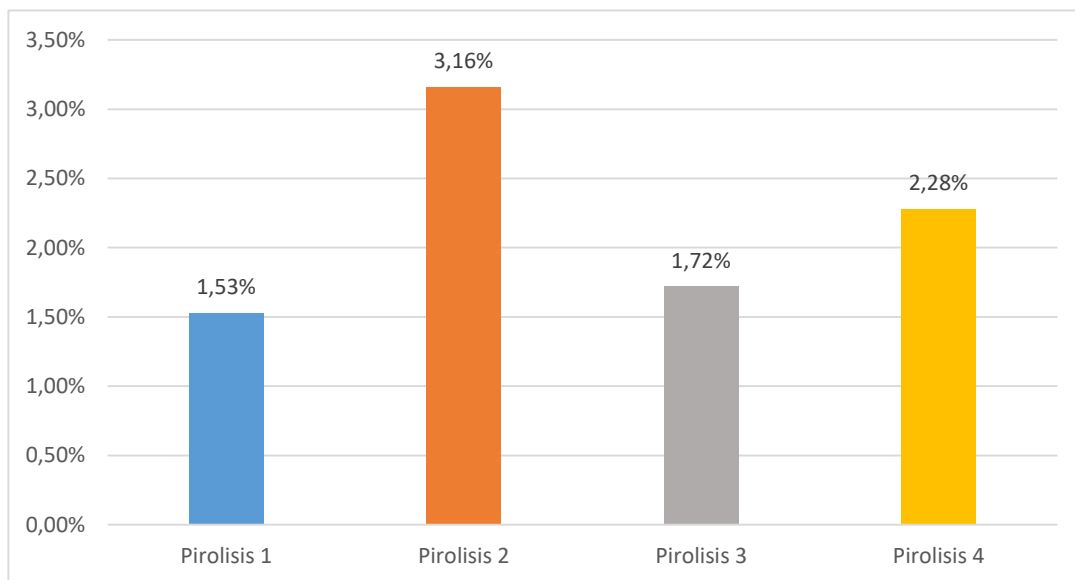


Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Persentase Berat



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Persentase Volume

Dalam proses pirolisis akan menghasilkan tiga produk yaitu cairan, gas dan padatan dengan tujuan utama yang ingin didapat adalah berupa cairan. Selain cairan pada penelitian ini didapati berat padatan hasil pirolisis. Berat padatan yang didapat berupa serbuk abu. Berat abu yang didapat untuk pirolisis pertama seberat 1,53 gram; pirolisis kedua seberat 3,16 gram; pirolisis ketiga seberat 1,72 gram; dan pirolisis keempat 2,28 gram. Berikut adalah perbandingan persentase berat abu yang dihasilkan:



Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Persentase Abu Hasil Pirolisis

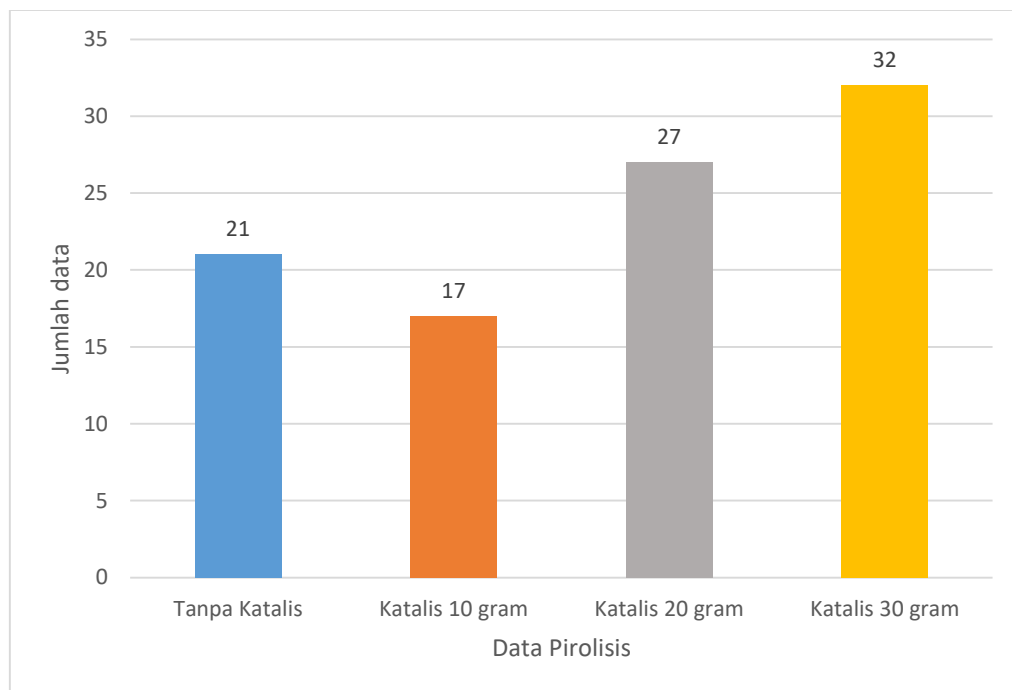
Pada penelitian ini tidak menghitung berat ataupun volume gas yang dihasilkan dalam proses pirolisis sehingga dapat dianggap bahwa berat dan volume sisanya adalah berupa gas. Menurut analisis, hal ini terjadi karena pemotongan rantai katalis secara acak menyebabkan sulitnya mengetahui hasil apa yang akan didapat antara cairan ataupun gas. Cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan cairan hasil pirolisisnya adalah dengan menurunkan suhu pendingin atau meningkatkan debit pada kondensor sehingga sirkulasi air dapat menurunkan suhunya. Alasan berikutnya adalah seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, yaitu karena bertambahnya volume katalis yang digunakan dan menyebabkan ruang yang berada didalam kolom katalis semakin sempit. Cairan tersebut tidak memiliki cukup tekanan untuk mendorong hingga ke kondensor yang kemudian keluar sebagai hasil pirolisis. Hal tersebut mengakibatkan banyak cairan hasil pirolisis tersisa pada kolom katalis.

4.3.5 Perbandingan Jumlah Periode

Pada penelitian ini menggunakan periode waktu untuk menghitung berat dari cairan yang dihasilkan oleh proses pirolisis. Waktu yang digunakan untuk setiap

periode adalah lima menit. Pemilihan waktu tersebut tidak memiliki acuan dan hanya bertujuan untuk mempermudah dalam pengambilan data.

Pada penelitian ini didapati bahwa pirolisis tanpa menggunakan katalis akan mendapatkan data periode yang cukup banyak dibandingkan dengan pirolisis dengan menggunakan katalis 10 gram. Akan tetapi dengan bertambahnya berat yang digunakan untuk katalis akan semakin banyak periode yang didapat. Jumlah periode yang didapat dapat dilihat pada tabel dan gambar grafik berikut:



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Jumlah Periode

Jumlah periode tersebut tidak mempengaruhi berat akhir yang didapat pada proses pirolisis. Karena berat yang didapat semakin ringan seiring dengan bertambahnya penggunaan katalis. Hal tersebut dipengaruhi oleh sempitnya ruang ada pada kolom katalis. Semakin banyak jumlah katalis yang digunakan maka akan semakin sempit ruang ada untuk dapat dilewati. Karena itulah akan memakan waktu lebih banyak untuk asap hasil pirolisis melewati kolom katalis yang kemudian memasuki kondensor hingga akhirnya dapat menetes.

4.3.6 Hasil Pengujian Karakteristik

Pengujian karakter ini bertujuan untuk mengetahui persamaan cairan hasil pirolisis dengan bahan bakar yang digunakan pada umumnya. Karakteristik yang diujikan antara lain adalah nilai kalor, densitas, viskositas, dan titik nyala. Karakter-karakter tersebut dipilih karena merupakan sifat fisik utama yang dimiliki oleh bahan bakar meskipun masih banyak yang harus diuji untuk pemakaian secara komersil. Karakteristik yang didapatkan pada hasil pirolisis dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Karakteristik Hasil Pirolisis

No	Bahan	Nilai Kalori	Densitas	Viskositas	Flash Point
		(kal/gram)	(gram/cm ³)	(cp)	(°C)
1	Tanpa Katalis	9072,4709	0,7454	14,00	121,00
2	Katalis 10 gram	9132,2761	0,7382	11,00	117,67
3	Katalis 20 gram	9236,3418	0,7324	9,00	114,00
4	Katalis 30 gram	9307,1660	0,7223	8,33	112,00

Karakteristik yang telah didapat akan dibandingkan dengan bahan bakar yang telah digunakan secara komersil. Bahan bakar yang digunakan sebagai perbandingan antara lain ada bensin, solar/biosolar, dan biodiesel. Karakter bahan bakar komersil tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Karakteristik Bahan Bakar Komersil

No	Bahan	Nilai Kalori	Densitas	Viskositas	Flash Point
		(kal/gram)	(gram/cm ³)	(cp)	(°C)
1	Bensin (<i>Gasoline</i>)	¹⁾ 11414,453	⁴⁾ 0,778-1,198	²⁾ 0,77-1.19	⁴⁾ -42,77
2	Solar	⁴⁾ 11106,3342	⁴⁾ 0,815-0,860	⁴⁾ 1,63-3,87	⁴⁾ 50
3	Biodiesel	³⁾ -	⁴⁾ 0,85-0,89	³⁾ 2,3-6	³⁾ >130

Sumber :¹⁾ Agariksa (2013), ²⁾ Wiratmadja (2010), ³⁾ SNI 7182:2015, dan ⁴⁾ Standar Bahan Bakar Pertamina

Nilai karakteristik tersebut ada yang tidak memiliki standar spesifik yaitu pada bensin dan biodiesel. Sebenarnya bensin tidak memiliki nilai viskositas dinamik/absolut yang spesifik karena pada aplikasinya bensin akan melakukan pembakaran pada suhu rendah yang di pancing oleh percikan api yang dihasilkan oleh busi (*Spark plug*) pada kendaraan. Berbeda dengan pembakaran solar yang digunakan oleh mesin diesel. Mesin diesel memiliki ruang khusus untuk pembakaran di mana solar akan disemprotkan (*spraying*) pada ruang pembakaran. Pada proses penyemprotan itulah viskositas dibutuhkan. Hal ini bukan berarti bensin tidak memiliki viskositas akan tetapi diperlukan pengujian lebih lanjut untuk mengetahuinya. Sementara itu nilai kalor pada biodiesel tidak memiliki patokan. Hal ini dikarenakan biodiesel merupakan bahan bakar yang telah diperbarui yang biasanya berasal dari bahan-bahan organik. Sehingga nilai kalor yang didapat tidak menentu. Pada umumnya biodiesel dicampurkan dengan solar sehingga terbentuk biosolar. Maka dari itu biodiesel memiliki karakteristik tersendiri sehingga dapat digabungkan dengan solar.

Pada penelitian ini akan membandingkan karakter utama hasil pirolisis dengan hasil pirolisis dari penelitian lain. Penelitian yang telah dilakukan oleh Rahman (2017) akan menjadi pembanding dengan penelitian ini. Penelitian milik Rahman (2017) adalah penelitian mengenai pirolisis plastik *polypropylene* dengan menggunakan zeolit sebagai katalis. Selanjutnya penelitian mengenai pirolisis *polypropylene* dengan katalis zeolit ini akan disingkat dengan PPZ (pirolisis *polypropylene* zeolit).

4.3.6.1 Perbandingan Nilai Densitas

Nilai densitas merupakan nilai kerapatan massa dalam satuan berat per volume. Nilai densitas pada bahan bakar berperan penting dalam penilaian bahan bakar. Pada umumnya semakin rendah densitas bahan bakar dengan besaran tertentu akan semakin bagus. Densitas yang rendah akan mudah menguap dan mudah terbakar oleh mesin. Adapun perbandingan nilai densitas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.4 Perbandingan Densitas

No	Bahan	Densitas (gram/cm ³)
1	Bensin	0,778-1,198
2	Solar	0,815-0,86
3	Biodiesel	0,85-0,89
4	Pirolisis PPZ ^{*)}	0,85
5	Pirolisis 1	0,7454
6	Pirolisis 2	0,7382
7	Pirolisis 3	0,7324
8	Pirolisis 4	0,7223

^{*)}Sumber: Rahman,2017

Dapat dilihat bahwa katalis yang digunakan pada pirolisis dapat mempengaruhi densitas yang didapat. Semakin banyak penggunaan katalis akan semakin rendah densitas yang didapat. Meskipun densitas yang didapat belum layak jika diaplikasikan secara langsung tanpa pencampuran dengan bahan bakar komersil yang telah digunakan. Nilai densitas pada penelitian ini juga berfungsi untuk mengetahui volume hasil pirolisis secara detail. Jika nilai berat dibagi dengan densitas maka akan didapatkan nilai volume. Contoh perhitungan diambil dari volume periode pertama dari pirolisis 1 dapat dilihat pada perhitungan berikut

volume = berat : densitas

$$\text{volume} = 4,34 \text{ gram} \times \frac{\text{cm}^3}{0,7454 \text{ gram}}$$

$$\text{volume} = 5,82 \text{ cm}^3$$

$$\text{volume} = 5,82 \text{ ml}$$

Penelitian yang dilakukan oleh Rahman (2017) melakukan pirolisis sampah plastik PP (*Polypropylene*) menggunakan katalis zeolite pada suhu 400°C. Pirolisis PPZ mendapatkan hasil dengan nilai densitas 0,85 gram/cm³. Hasil tersebut lebih dapat diaplikasikan karena sudah sesuai standar baku mutu jika dibandingkan dengan densitas penelitian ini yang hanya mencapai 0,7223 gram/cm³ nilai terkecilnya dan 0,7454 gram/cm³ pada nilai terbesarnya.

4.3.6.2 Perbandingan Nilai Viskositas

Nilai viskositas adalah sebuah nilai di mana hambatan mempengaruhi zat cair untuk mengalir. Semakin tinggi nilai viskositasnya akan semakin kental zat cair tersebut. Pada sisi lain semakin rendah nilai viskositasnya maka akan semakin encer zat tersebut. Viskositas ini berperan penting dalam proses pembakaran mesin diesel. Karena bahan bakar akan disemprotkan kedalam ruang pembakaran. Pada proses penyemprotan membutuhkan viskositas yang spesifik. Adapun perbandingan nilai viskositas dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut:

Tabel 4.5 Perbandingan Viskositas

No	Bahan	Viskositas (cp)
1	Bensin	0,77-1,19
2	Solar	1,63-3,87
3	Biodiesel	2,3-6
4	Pirolisis PPZ ^{*)}	1,82
5	Pirolisis 1	14
6	Pirolisis 2	11
7	Pirolisis 3	9
8	Pirolisis 4	8

^{*)}Sumber: Rahman,2017

Viskositas yang diukur adalah viskositas dinamis/absolut di mana viskositas kinematis dikalikan dengan denisitasnya. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa pirolisis 4 mendapati hasil terkecil dengan nilai 8 cp (*centipoise*) di mana nilai tersebut mengalami hambatan terkecil dibandingkan dengan pirolisis yang lainnya. Akan tetapi nilai tersebut belum mendekati syarat yang dibutuhkan untuk nilai terbesar perbandingannya yaitu biodiesel dengan nilai 6 cp.

Jika dibandingkan dengan penelitian Rahman (2017) yang memiliki nilai densitas 1,82 cp, densitas penelitian ini masih terlalu besar untuk mencapai standar mutu karena nilai densitas yang didapat adalah 8 cp. Akan tetapi untuk mengaplikasikannya hasil pirolisis ini lebih mudah karena densitas dapat diturunkan

dengan melakukan pencampuran, sementara densitas milik Rahman harus melakukan pirolisis ulang untuk peningkatan densitasnya.

4.3.6.3 Perbandingan Nilai Titik Nyala

Titik nyala ada sebuah fase terhadap suatu bahan di mana bahan itu akan dapat memantik api pada bentuk uap. Semakin kecil suhu titik nyala terjadi maka akan semakin mudah bahan tersebut terbakar. Adapun perbandingan nilai titik nyala dapat lihat pada tabel berikut:

Tabel 4.6 Perbandingan Titik Nyala

No	Bahan	Titik Nyala (°C)
1	Bensin	-42,77
2	Solar	50
3	Biodiesel	>130
4	Pirolisis PPZ ^{*)}	52
5	Pirolisis 1	121
6	Pirolisis 2	117,67
7	Pirolisis 3	114
8	Pirolisis 4	112

^{*)}Sumber: Rahman,2017

Pada perbandingan tersebut sudah dapat disimpulkan bahwa hasil pirolisis tidak dapat disandingkan dengan bensin karena perbedaan yang cukup jauh. Pada hasil yang didapat semakin banyak katalis yang digunakan maka akan semakin rendah titik nyalanya. Dapat dilihat bahwa titik nyala pirolisis 4 mendapati nilai terendah dengan suhu 112°C. Suhu tersebut masih jauh jika dibandingkan dengan solar, tetapi cukup kecil jika disamakan dengan biodiesel. Hasil pirolisis ini tetap dapat digunakan sebagai biodiesel akan tetapi dengan pengujian lebih lanjut.

Jika dibandingkan dengan penelitian milik Rahman (2017) yang mendapati nilai titik nyala 52°C, titik nyala penelitian ini dengan nilai terendah 112°C dan nilai tertinggi 121°C masih lebih dekat dengan standar biodiesel yang memiliki standar

>130°C. Meskipun penelitian Rahman mendekati titik nyala solar dengan nilai 50°C, hasil tersebut tidak dapat disamakan karena hasil pirolisis akan masuk katagori biodiesel.

4.3.6.4 Perbandingan Nilai Kalor

Nilai kalor menjadi salah satu karakter penting yang harus diketahui pada bahan bakar. Nilai kalor adalah sebuah nilai energi panas yang dapat dihasilkan oleh suatu bahan. Nilai kalor harus disesuaikan dengan kapasitas mesin yang digunakan karena jika nilai kalor terlalu besar atau terlalu kecil akan merusak mesin itu sendiri. Adapun perbandingan nilai kalor dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Kalor

No	Bahan	Nilai Kalor (kal/gram)
1	Bensin	11414,45
2	Solar	11106,33
3	Biodiesel	-
4	Pirolisis PPZ ^{*)}	10670,99
5	Pirolisis 1	9072,47
6	Pirolisis 2	9132,28
7	Pirolisis 3	9236,34
8	Pirolisis 4	9307,17

Berdasarkan tabel tersebut dapat dilihat bahwa semakin banyak penggunaan katalis akan semakin besar kalori yang didapat pada hasil pirolisis. Nilai kalori tertinggi terdapat pada pirolisis 4 dengan nilai kalor sebesar 9307,01 kal/gram. Jika dibandingkan, nilai kalori pada hasil pirolisis tidak terpaut terlalu jauh dengan solar dan bensin. Sementara jika dibandingkan dengan biodiesel dari nilai kalornya saja maka hasil pirolisis tersebut dapat dikategorikan sebagai biodiesel. Berdasarkan SNI 7182 tahun 2015 mengenai mutu biodiesel, biodiesel tidak memiliki nilai kalor spesifik. Akan tetapi memiliki spesifik karakteristik yang lain karena akan dicampurkan dengan solar hingga dapat terbentuknya biosolar.

Jika dibandingkan dengan penelitian Rahman dengan nilai 10670,99 kal/gram, hasil penelitian ini masih mendapati hasil yang lebih rendah dengan nilai kalor 9307,17 kal/gram pada nilai terbesarnya. Hasil tersebut tidak memiliki dampak jika dibandingkan dari segi standar biodiesel karena biodiesel tidak memiliki standar pada nilai kalornya. Hal tersebut disebabkan karena biodiesel berasal dari sumber yang diperbarui sehingga nilainya akan fluktuatif. Nilai kalori yang lebih besar akan membuat penggunaan sedikit lebih hemat karena dibutuhkan berat yang lebih ringan untuk menghasilkan kalori yang lebih besar.