

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Dudung Tri Ashari (2022) melaksanakan penelitian yang relevan dengan judul penelitian ini yaitu limbah plastik berjenis *polyethylene terephthalate* (PET). Pada penelitian ini proses pirolisis dengan jenis plastik *polyethylene terephthalate* (PET) dilaksanakan tanpa penambahan katalis dan bahan baku yang dipakai berupa potongan. Temperature pemanasan pada proses pirolisis dipenelitian ini dilaksanakan dengan variasi 300°C, 350° serta 400°C dengan bahan baku berupa plastik berjenis *polyethylene terephthalate* (PET) [13].

Pengujian proses pirolisis memakai plastik berjenis *polyethylene terephthalate* (PET) dilaksanakan guna mengidentifikasi massa jenis serta nilai kalor yang terdapat pada bahan baku tersebut, dan bisa disimpulkan bahwa hasil analisis pengaruh suhu pemanasan pada massa jenis serta nilai kalor yang telah dilaksanakan. Dari hasil tersebut ada berbagai faktor yang memberi pengaruh pada tinggi rendahnya besar nilai dari massa jenis dan nilai kalor, yaitu kestabilan temperatur yang diharuskan selalu terjaga serta ukuran jalur pipa gas.

Table 2.1 Nilai Rata-rata Pengujian Laboratorium Minyak Hasil Pirolisis

Sumber: [14]

Temperatur (°C)	Massa Jenis (g/mL)	Nilai Kalor (kal/gram)
T300 °C	0,8535	10,887
T350 °C	0,7618	11,676
T400 °C	0,7601	11,549

2.2 Polimer

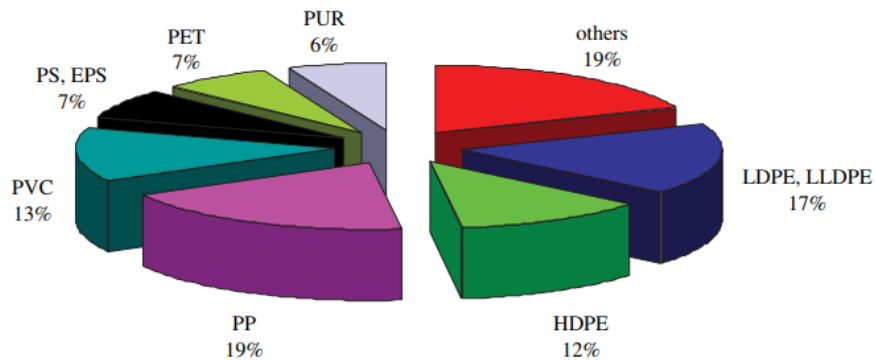
Dalam bahasa Yunani, kata "polimer" yaitu serapan kata "poly", yang bermakna "banyak," dan "meros", yang bermakna "bagian" [4]. Polimer, yang juga dikenal sebagai monomer, tersusun dari seratus atau seribu unit molekul yang kecil yang terikat pada rantai atau rantai pengulangan panjang, dan mempunyai massa

yang besar. Monomer yang membentuk polimer bisa berasal dari suatu jenis atau jenis yang berbeda, sehingga sifat setiap polimer berbeda bergantung pada monomer yang membentuknya [15]. Polimerisasi yaitu istilah yang dipakai dalam penyebutan reaksi yang menciptakan polimer. Polimer yang telah dibentuk menjadi plastik, juga disebut sebagai plastik.

Mengacu pada asalnya, polimer diklasifikasikan menjadi polimer alami dan polimer sintesis. Polimer alami terbentuk secara alami dan berasal dari makhluk hidup, tetapi biasanya mempunyai sifat yang kurang menguntungkan. Di sisi lain, polimer sintesis, yang juga dikenal sebagai polimer buatan, yaitu polimer yang tidak ditemukan di alam dan perlu diproduksi oleh manusia. Menurut daya tahannya terhadap panas, polimer sintetik dimasukkan ke dalam kelompok lain, antara lain termoset, termoplas, dan elastomer. Termoplas, di sisi lain, melunak ketika dipanaskan, sehingga bisa diubah menjadi PVC [16].

2.3 Plastik

Proses yang dikenal sebagai polimerisasi yaitu ketika berbagai molekul sederhana (*monomer*) digabungkan menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer) dengan proses kimia. Plastik yaitu satu dari sekian jenis makromolekul yang terbentuk dalam proses ini. sebab banyak alasan, satu dari sekiranya yaitu murah dan mudah dibuat, plastik dipakai dalam banyak produk. Plastik dipakai secara luas dan terus bertambah dalam kehidupan modern, dan peningkatan produksi plastik dari bnyak industri dan rumah tangga di seluruh dunia yaitu sesuatu yang tidak bisa dihindari [15]. Plastik yaitu senyawa polimer yang terbentuk dari hidrogen dan karbon sebagai unsur utamanya. Naphta, yang tercipta dari penyulingan gas alam atau minyak bumi, yaitu satu dari sekian bahan baku yang paling umum dipakai dalam pembuatan plastik [16].



Gambar 2. 1 Permintaan bahan plastik dunia berdasarkan jenis resin

Sumber: [17]

Plastik biasanya bersifat isolator dan dibuat dengan mudah dan murah, tetapi meskipun kelebihanannya, mereka mempunyai masalah setelah dipakai. Plastik tidak bisa membusuk, menyerap air, atau berkarat, dan tidak bisa diurai oleh mikroorganisme di tanah, sehingga mengakibatkan masalah lingkungan [18]. Plastik tahan terhadap pembekuan ($-40\text{ }^{\circ}\text{C}$), penyimpanan ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), sterilisasi (121°C), microwave ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$), dan pancaran panas ($200\text{ }^{\circ}\text{C}$) [19].






Terdapat enam jenis plastik berdasarkan jenis produknya: polietilen tereftalat (PET), polietilen tinggi densitas (HDPE), polivinil klorida (PVC), polietilen rendah densitas (LDPE), polipropylene (PP), polystyrene (PS), dan lainnya [20]. Biasanya, sampah plastik tersusun dari 46% Polyethylene (HDPE dan LDPE), 16% Polypropylene (PP), 16% Polystyrene (PS), 7% Polyvinyl Chloride (PVC), 5% Polyethylene Terephthalate (PET), 5% Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS), serta berbagai polimer lainnya. Lebih dari 70% plastik yang diproduksi saat ini yaitu Polyethylene (PE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS), dan Polyvinyl Chloride (PVC). Oleh sebab itu, sebagian besar penelitian yang dilaksanakan berkaitan dengan empat jenis polimer tersebut [21].



Begitu penting guna memahami sifat *thermal* dari beragam jenis plastik saat mengolah plastik daur ulang. Temperatur titik lebur (T_m), suhu transisi (T_g), serta suhu dekomposisi yaitu sifat termal plastik yang penting. Temperatur transisi yaitu suhu di mana plastik menjadi lebih fleksibel sebab perenggangan strukturnya. Pada

suhu titik lebur (T_m), volume plastik bertambah, yang molekul berpeluang bergerak lebih bebas, yang dibuktikan dengan kelenturannya yang meningkat.

Tabel 2. 2 Jenis plastik, kode, titik leleh dan pengaplikasian

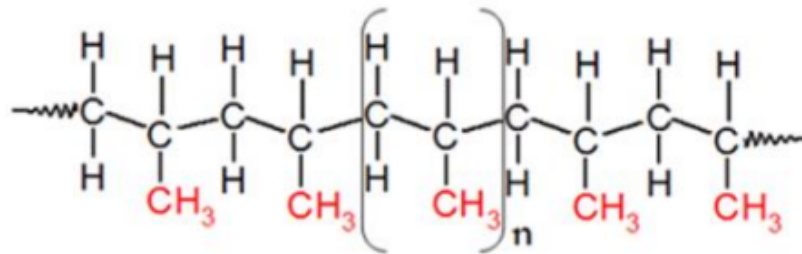
Sumber: [22]

Jenis Plastik	Kode	Titik Leleh (°C)	Penggunaan Plastik
PET (<i>Polyethylene Terephthalate</i>)		250	botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik .
HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)		200-250	botol obat, botol susu cair, jerigen pelumas, dan botol kosmetik.
PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)		160-180	pipa selang air, pipa bangunan, mainan, taplak meja dari plastik, botol shampo, dan botol sambal.
LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)		160-240	kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging beku, dan berbagai macam plastik tipis lainnya.
PP (<i>Propylene</i>)		200-300	cup plastik, tutup botol dari plastik, mainan anak, dan margarine.

PS (Poly Styrene)		180-260	kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas plastik, atau tempat makanan dari styrofoam, dan tempat makan plastik transparan.
OTHER		180-310	botol susu bayi, plastik kemasan, gallon air minum, suku cadang mobil, alat-alat rumah tangga, komputer, alat-alat elektronik, sikat gigi, dan mainan lego.

2.4 Plastik Polypropylene (PP)

Polypropylene (PP) ditemukan pada tahun 1954, dan sebab mempunyai kepadatan terendah di antara plastik komoditas, ia menjadi begitu populer dengan cepat. Penemuan ini menunjukkan bahwa mikroorganisme yang mempunyai kemampuan guna menghancurkan plastik bisa secara selektif atau sepenuhnya menghancurkan setidaknya satu jenis plastik dari polietilen tereftalat (PET), polivinil klorida (PVC), polistiren (PS), polipropilen (PP), dan polietilen (PE) menjadi bahan dengan berat molekul rendah dalam kondisi kultur yang tepat [23]. PP mempunyai daya tahan kimia yang luar biasa dan bisa diproses dengan berbagai metode konversi, termasuk ekstrusi dan cetakan injeksi. *Polypropylene* yaitu sebagai hasil dari proses polimerisasi gas propilena. *Polypropylene* memiliki transisi gelas (T_g) yang cukup tinggi ($190\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $200\text{ }^{\circ}\text{C}$), dan titik kristalisasinya antara $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $135\text{ }^{\circ}\text{C}$. Namun, tidak tahan terhadap pukulan [24]. Kekerasan dan titik leleh dari berbagai bentuk polypropylene berbeda. Material PP ini dipakai dalam hiasan mobil, *cashing accumulator*, botol, tabung, dan tas [25].



Gambar 2. 2 Struktur plastik *polypropylene* [28]

Sumber: [26]

Plastik polipropilena memiliki kekuatan benturan yang tinggi, tegangan permukaan yang rendah, dan konduktivitas panas yang rendah (0,12 W/m). Secara kimiawi, polipropilena sangat tahan terhadap bahan kimia anorganik, deterjen, alkohol, dan bahan kimia anorganik yang tidak mengoksidasi; polipropilena juga tahan terhadap pelarut organik, bahan kimia anorganik, uap air, minyak, asam, dan basa, serta yaitu isolator yang baik. Walau bagaimanapun, dapat rusak oleh asam nitrat pekat dan mudah terbakar dengan nyala api yang lambat. Asam nitrat dan hidrogen peroksida adalah zat yang dapat mengoksidasinya. Karena kristalinitasnya yang tinggi, ia menjadi keras dan kaku karena daya regangnya yang tinggi.

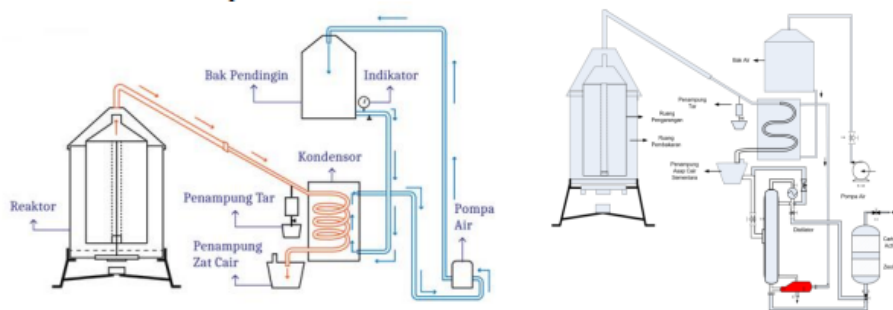
Tabel 2. 3 Data temperature transisi dan temperature lebur plastic

Sumber: [27]

Jenis Bahan	T _m (°C)	T _g (°C)	Temperatur kerja maks. (°C)
PP	168	5	80
HDPE	134	-110	82
LDPE	330	-115	260
PA	260	50	100
PET	250	70	100
ABS		110	85
PS		90	70

2.5 Pirolisis

Satu dari sekian teknologi alternatif yang sedang dikembangkan di Indonesia terkait pengelolaan sampah plastik yaitu pirolisis. Pirolisis yaitu proses termal yang mengkonversi sampah plastik menjadi minyak setara biosolar. Dalam proses ini, sampah plastik didekomposisi secara termal tanpa adanya oksigen, yang sering disebut sebagai devolatilisasi. Hasil dari proses pirolisis ini yaitu hidrokarbon yang lebih rendah, yang biasanya berada dalam kisaran C7 hingga C70. Guna menggantikan bahan bakar fosil contohnya bahan bakar minyak (BBM), minyak yang tercipta bisa dipakai sebagai bahan bakar. Ini akan meminimalisir total sampah yang dibuang di lingkungan dan meminimalisir kebergantungan kita pada bahan bakar fosil, yang yaitu langkah penting menuju keberlanjutan energi [28]. Arang (char), minyak, dan gas yaitu produk utama dari pirolisis [29]. Teknik pirolisis ini mempunyai kemampuan guna menciptakan gas pembakaran yang aman bagi lingkungan dan bermanfaat. Rantai karbon panjang polimer plastik dipecah menjadi rantai hidrokarbon yang berantai pendek; setelah itu, fase cair didinginkan.



Gambar 2. 3 Skema proses pirolisis

Sumber: [18]

Banyak peneliti memilih proses pirolisis sebab bisa membuat minyak cair dalam total yang tinggi samoai 80% berat dalam suhu sedang yaitu sekitar 500°C [30].

2.5.1 Klasifikasi Pirolisis

Pirolisis bisa dibagi menjadi tiga jenis utama: *slow pyrolysis*, *fast pyrolysis*, dan *flash pyrolysis*. Perbedaan utama di antara ketiganya terletak pada suhu, laju pemanasan, waktu tinggal bahan padat, ukuran partikel, dan faktor lainnya:

1. *Slow pyrolysis*

Sejak ratusan tahun yang lalu, metode *slow pyrolysis* telah dipakai. Pirolisis yaitu proses karbonisasi di mana tujuan utamanya yaitu guna membuat kayu bakar atau char dengan suhu dan kecepatan pemanasan yang rendah [31]. Pirolisis ini memakai suhu yang lebih rendah dari *fast pyrolysis*, sekitar 400°C, dengan char sebagai target utama, tetapi juga kadang-kadang melibatkan cairan dan gas. [32].

2. *Fast pyrolysis*

Fast pyrolysis bertujuan utama guna menciptakan sebanyak mungkin produk cair atau *bio-oil*. Proses ini melibatkan pemanasan cepat bahan baku hingga suhu maksimum sebelum dekomposisi terjadi [33]. Biasanya, bahan baku dipecah menjadi partikel kecil dan dipakai peralatan khusus yang memungkinkan pelepasan uap cepat dari padatan yang dipanaskan. Suhu operasi biasanya sekitar 500°C. Proses *fast pyrolysis* biasanya menciptakan 60% - 75% produk minyak (antara lain *bio-oil* dan cairan lainnya), sekitar 15% - 25% padatan (terutama *biochar*), dan sekitar 10% - 20% gas, bergantung pada jenis bahan baku yang dipakai. Karakteristik penting dari *fast pyrolysis* mencakup transfer panas yang efisien, laju pemanasan tinggi, waktu tinggal uap yang singkat (pelepasan uap cepat), pendinginan uap yang cepat, serta kontrol suhu reaksi yang presisi guna meningkatkan hasil *bio-oil*.

3. *Flash pyrolysis*

Karakteristik utama dari *flash pyrolysis* yaitu devolatilisasi cepat dalam atmosfer *inert*, kecepatan pemanasan partikel yang tinggi, suhu reaksi yang tinggi (sekitar 450°C hingga 1000°C), dan waktu

tinggal gas yang begitu singkat (kurang dari satu detik). Dalam proses ini, gas yang terkondensasi atau tidak terkondensasi mempunyai waktu tinggal singkat, berkisar antara tiga puluh hingga lima ribu milidetik. Setelah didinginkan, uap yang terkondensasi berubah menjadi produk cair yang dikenal sebagai *bio-oil*. Produk cair atau *bio-oil* ini mencakup antara tujuh puluh hingga tujuh puluh lima persen dari seluruh produk pirolisis. *Flash pyrolysis* menciptakan lebih banyak produk tar dan char dan gas daripada *pyrolysis* yang lambat.

Tabel 2. 4 Tipikal Parameter Operasi dan Produk Hasil dari Proses Pirolisis [33]

Sumber: [31]

Pyrolysis Process	Solid Residence Time (s)	Heating Rate (K/s)	Particle Size (mm)	Temp. (K)	Product Yield (%)		
					Oil	Char	Gas
Slow	450–550	0.1–1	5–50	550–950	30	35	35
Fast	0.5–10	10–200	<1	850–1250	50	20	30
Flash	<0.5	>1000	<0.2	1050–1300	75	12	13

Guna mendapatkan hasil pembakaran yang optimal, penting guna mengidentifikasi karakteristik bahan bakar cair yang akan dipakai untuk penggunaan mesin atau peralatan tertentu.

2.5.2 Faktor Pengaruh Pirolisis

Faktor-faktor atau kondisi yang memengaruhi proses pirolisis dan memastikan kelancaran operasinya mencakup [34]:

1. Waktu

Produk yang tercipta oleh proses pirolisis dipengaruhi oleh lamanya proses; kian lama proses berlangsung, total produk antara lain residu padat, tar, dan gas cenderung meningkat. Peningkatan ini berlanjut hingga mencapai titik konstan yang disebut sebagai waktu tak hingga (τ), di mana hasil residu padat, tar, dan gas mencapai nilai konstan [22]. Nilai τ didapat dari proses isothermal. Namun, waktu optimal begitu penting untuk proses pirolisis sebab karbon akan teroksidasi oleh oksigen (terbakar) dan menjadi karbondioksida dan abu jika dilewatkan lebih lama.

2. Suhu

Suhu mempunyai pengaruh signifikan terhadap produk yang tercipta dalam proses pirolisis. Sesuai dengan persamaan Arrhenius, kian tinggi suhu, nilai konstanta dekomposisi termal menjadi lebih besar. Hal ini mengakibatkan peningkatan laju pirolisis dan konversi bahan baku menjadi produk yang diharapkan [33]

3. Ukuran Partikel

Ukuran partikel mempunyai pengaruh signifikan terhadap hasil dalam proses pirolisis. Kian besarnya ukuran partikel, luas permukaan per satuan berat menjadi kian berkurang. Akibatnya, proses pirolisis cenderung melambat sebab area permukaan yang tersedia untuk reaksi menjadi lebih sedikit.

4. Berat Partikel

Penambahan total bahan baku dalam proses pirolisis mengakibatkan peningkatan produksi bahan bakar cair (tar) dan arang.

2.6 Bahan Bakar Cair

Biasanya, bahan bakar cair yang didapat dari proses pirolisis tidak cocok untuk konsumsi bahan bakar langsung sebab adanya kontaminan antara lain abu dan lilin dari bahan baku. Oleh sebab itu, produk pirolisis dimurnikan guna menurunkan kandungan abu dan lilin bahan bakar. Kolom distilasi *bubble cap tray* dipakai dalam prosedur pemurnian ini, yang membantu menurunkan kandungan abu dan lilin produk bahan bakar [35]. Bahan bakar cair yaitu senyawa hidrokarbon yang mempunyai titik didih di atas suhu ruangan (*ambient temperature*). Senyawa hidrokarbon ini tersusun dari berbagai jenis, termasuk parafin (*alkana*), olefin (*alkena*), alkuna, naftalena (*siklik*), dan aromatik.

Pengujian bisa dilaksanakan untuk parameter bahan bakar cair biasa, yang mencakup viskositas, titik tuang, titik nyala, suhu nyala spontan, distilasi, nilai kalor, dan tekanan uap. Jenis bahan bakar bisa disimpulkan dari densitas relatif. Kepadatan relatif dipakai guna mendeteksi keberadaan polutan dalam bahan bakar yang telah dikenali jenisnya. Susunan hidrokarbon bahan bakar cair mempengaruhi jenis bahan bakar [36].

Karena bahan bakar cair lebih mudah dipakai, mempunyai efisiensi termal yang lebih baik, dan lebih mudah dibawa, kian banyak orang yang beralih ke minyak bumi sebagai sumber energi utama mereka. sebab mudah dipakai, disimpan, dan mempunyai nilai kalor pembakaran yang secara umum konstan, bahan bakar cair secara teoritis yaitu sumber energi yang ideal. Fakta bahwa bahan bakar cair membutuhkan prosedur penyulingan yang rumit yaitu satu dari sekian kelemahannya.

Berikut ini yaitu karakterisasi dan sifat fisik yang terdapat pada bahan bakar cair [37]:

1. Densitas

Densitas suatu benda yaitu massanya dibagi dengan volumenya.

Persamaan guna menghitung densitas bisa ditemukan:

$$densitas = \frac{massa}{volume} \quad (2.1)$$

Nilai densitas bahan bakar menunjukkan adanya zat pengotor. Sebaiknya, ketika total massa jenis lebih dari persyaratan, jenis itu tidak boleh dipakai dan perlu dimurnikan kembali. Ini sebab memakainya akan memperburuk keausan mesin serta mengakibatkan kerusakan pada mesin.

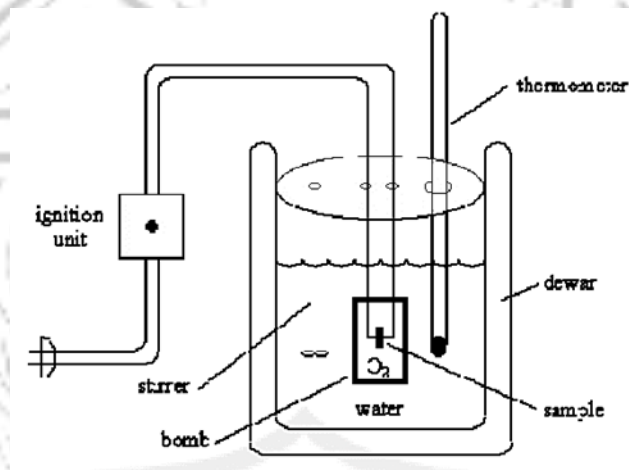
2. Titik Nyala Bahan Bakar Cair (BBC)

Flash point yaitu suhu terendah di mana bahan bakar akan menguap dan membentuk campuran uap yang bisa menyala dengan percikan api ketika bercampur dengan udara pada tekanan normal. Penentuan *flash point* bahan bakar begitu penting sebab berkaitan dengan keselamatan dan keamanan dalam penyimpanan dan penanganan. Kian rendah flash point suatu bahan bakar, kian mudah untuk terbakar. *Flash point* yang terlampau rendah (di bawah standar) bisa mengakibatkan deteksi berupa ledakan kecil sebelum bahan bakar masuk ke ruang pembakaran. Kebalikannya, kian tinggi flash point bahan bakar, kian sulit untuk terbakar. Bahan bakar dengan flash point tinggi lebih aman dipakai dan disimpan sebab tidak mudah terbakar pada suhu

kamar. Namun, jika flash point terlampaui tinggi, bisa mengakibatkan keterlambatan dalam penyalaan saat dipakai dalam mesin [2].

3. Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (BBC)

Energi panas terbentuk oleh reaksi kimia antara bahan bakar dengan oksigen dari udara. Nilai kalor bahan bakar yaitu total energi yang dilepaskan oleh setiap 23 satuan bahan bakar yang terbakar secara sempurna. Anda bisa memakai informasi ini guna mengidentifikasi berapa banyak bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin selama operasinya. Bom kalorimeter dipakai guna mengukur kalor yang terbentuk dari pembakaran bahan bakar cair [38].



Gambar 2.4 Calorimeter tipe bomb

4. Viskositas

Metrik yang dikenal sebagai viskositas dipakai guna mengukur resistensi cairan guna mengalir. Kemampuan cairan guna mengalir akan bergantung pada nilai viskositasnya; kian tinggi viskositasnya, kian sulit cairan mengalir. Viskositas juga dipengaruhi oleh suhu. Suhu yang lebih tinggi mengakibatkan cairan lebih mudah mengalir. Viskositas bahan bakar menunjukkan semudah apa bahan bakar bisa mengalir dan dikabutkan di ruang bakar; bahan bakar dengan viskositas yang lebih rendah akan lebih mudah mengalir [39].

5. Massa Jenis

Densitas atau massa jenis yaitu massa per satuan volume. Rumus massa jenis yaitu antara lain:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.2)$$

Dimana,

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

$m = \text{massa(kg)}$

$v = \text{volume (m}^3\text{)}$

Massa jenis biasanya berkorelasi dengan kedua tekanan serta suhu. Massa jenis dari berbagai bagian gas berbanding lurus dengan tekanan namun berbanding terbalik terhadap suhu. Namun, sebab zat cair yaitu zat yang tidak bisa dimampatkan atau *incompressible*, peningkatan tekanan tidak akan mengubah densitasnya secara signifikan. sebab kepadatan cairan atau densitasnya bergantung pada temperaturnya.

2.7 Pembakaran Bahan Bakar Cair

Produksi energi termal dari energi kimia yaitu sumber utama energi bahan bakar. Reaksi pembakaran yaitu reaksi kimia eksotermis yang terpenting pada proses produksi energi. Reaksi ini tersusun dari oksidasi 3 jenis unsur yang bisa terbakar yang ditemukan dalam berbagai bahan bakar fosil. Karbon dioksida (CO₂), hidrogen dioksida (H₂O), serta sulfur dioksida (SO₂) berturut-turut tercipta sebagai hasil dari reaksi ini [40].

2.7.1 Reaksi Pembakaran

Reaksi pembakaran yaitu reaksi kimia yang terjadi dalam waktu yang begitu cepat antara bahan bakar dan oksigen yang menciptakan panas dan gas sisa pembakaran. Komposisi produk pembakaran dipengaruhi oleh kualitas reaksi pembakaran yang terjadi.

Dalam pembakaran proses yang terjadi yaitu oksidasi dengan reaksi antara lain:

- Karbon + Oksigen = Karbon dioksida + panas
- Hidrogen + Oksigen = uap air + panas

- Sulfur + Oksigen = Sulphur Dioksida + panas

Pembakaran dinikahi sempurna ketika campuran dari bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai komposisi yang tepat, yang disebut stoikiometri, sehingga tidak ada sisa pembakaran yang tersisa. Jika terdapat kelebihan oksigen, campuran tersebut disebut sebagai campuran kurus, serta hasil pembakarannya membentuk api oksidasi. Kebalikannya, jika bahan bakarnya terlampau banyak, sehingga tidak mempunyai cukup oksigen, campuran tersebut disebut sebagai campuran kaya, dan akan menciptakan api reduksi [43].

2.7.2 Mekanisme Pembakaran

Dalam menciptakan bahan bakar cair dari limbah plastik ini, metode destilasi dipakai; limbah plastik dipecahkan dan dipanaskan dengan proses pirolisis di reaktor. Pertama, bahan baku utama, atau limbah plastik, dibersihkan dan kemudian dicampur. Setelah dicampur, limbah plastik dimasukkan ke dalam reaktor dengan lubang masuk. Guna melakukan proses pemanasan reaktor, tungku dipakai yang mengandung gas LPG (*gas petroleum liquefied*).

Guna mencegah kebocoran udara atau gas, lubang masuk perlu ditutup dan dikunci dengan ketat. Setelah itu, tungku dipanaskan. Proses pembuatan bahan bakar cair ini membutuhkan waktu lebih dari sembilan puluh menit. Selama proses pemanasan, limbah plastik yang dicacah akan mencair pada suhu lebih dari seratus derajat Celcius dan mulai menguap menjadi fase gas yang terbentuk, yang akan dikondensasikan dengan kondensor [44]. Biaya bahan dan material, proses produksi, dan jasa yaitu langkah pertama dalam menghitung biaya. Semua ini dilaksanakan guna memakai perhitungan sebagai dasar pada waktu produksi pembuatan, dan biaya total proses pembuatan mesin dihitung dalam satuan Rp/min. Keseluruhan biaya pembuatannya akan bertambah seiring dengan lamanya waktu yang dibutuhkan guna menyelesaikannya.

2.8 Pengaruh Temperatur Terhadap Hasil Pirolisis Plastik

Suhu yaitu komponen yang begitu memberi pengaruh pada proses pirolisis plastik. Guna mencapai komposisi yang diharapkan, jenis plastik bisa mengubah suhu. Produknya terutama tersusun dari campuran gas bahan bakar antara lain CH₄, H₂, dan hidrokarbon ringan yang mencapai suhu 600 °C. [41]. *Wax* dan bahan bakar cair tercipta pada suhu 400 hingga 600 derajat Celcius. Naftha, gasolina, minyak diesel, dan kerosene yaitu contoh bahan bakar cair yang umum [42].

Jika suhu bertambah selama proses pirolisis, produksi gas serta hidrokarbon ringan (C₃–C₄) akan bertambah, sementara produksi produk dengan nomor karbon tinggi (C₂₁–C₃₀) akan berkurang. sebab variasi perpindahan panas di dalam atau di antara partikel selama devolatilisasi, laju pemanasan yaitu komponen penting yang bisa memberi pengaruh pada karakteristik pirolisis. Hasil dan tingkat kehilangan massa jenis dalam pirolisis dipengaruhi oleh laju pemanasan [43].

Dengan memakai persamaan (2.3). Maka bisa dihitung laju pemanasan pada proses pirolisis dari setiap temperatur:

$$LP = \frac{SM-SA}{WP} \quad (2.3)$$

Keterangan:

- LP : Laju Pemanasan (°C/menit)
SM : Suhu Maksimum atau Suhu Akhir (°C)
SA : Suhu Awal (°C)
WP : Waktu Pemanasan (menit) [44]

Selama proses thermal cracking, suhu produk cair bertambah seiring dengan proporsi fraksi bensin dan diesel. Suhu pirolisis meningkatkan produksi gas yang tidak terkondensasi, sementara produksi bahan bakar cair menurun. Akibatnya, sebab suhu proses pirolisis bertambah sampai titik tertentu, produk pirolisis yang terurai secara parsial akan menciptakan hasil produk cair yang bertambah secara bertahap [45].

Viskositas dan densitas yaitu parameter penting yang dipakai guna mensimulasikan sifat fisik hasil minyak pirolisis. Viskositas dan densitas

mempunyai perbedaan struktural. Viskositas yaitu ukuran resistensi suatu fluida terhadap deformasi atau kekentalan suatu cairan. Kian tinggi viskositas minyak pirolisis, kian kental cairan minyak tersebut. Minyak pirolisis biasanya mempunyai viskositas yang mendekati nilai viskositas dari bahan bakar minyak (BBM) bensin. Viskositas yang lebih rendah memudahkan aliran minyak dan memberi pengaruh pada kinerja bahan bakar pada mesin. Satuan viskositas biasanya dinyatakan dalam *centipoise* (cP). Densitas yaitu ukuran massa per satuan volume dan bisa memberi pengaruh pada proses pemisahan dan pemurnian produk pirolisis. Jadi, viskositas memberi pengaruh pada aliran minyak, sedangkan densitas memberi pengaruh pada berat jenis dan kapasitas tangki. Kian mendekati nilai densitas bensin, solar, dan minyak tanah, kian baik kualitas minyak hasil pirolisis sebagai bahan bakar alternatif. Selain pirolisis, proses katalisis yaitu proses lain yang membantu pembentukan minyak bumi. Proses ini terjadi ketika mineral tertentu, antara lain zeolit dan lempung, berfungsi sebagai katalis, mempercepat reaksi kimia yang menciptakan hidrokarbon. Katalis membantu mengubah molekul organik menjadi hidrokarbon dengan lebih baik.

