

## PROSES KONVERSI LIMBAH PELUMAS RINGAN JENIS SAE 15W-40 MENJADI FUEL OIL ALTERNATIF

### CONVERSION PROCESS SAE 15W-40 LIGHT LUBRICANT WASTE TO ALTERNATIVE FUEL OIL

Sri Ardhiany<sup>1)</sup>, Anggi Wahyuningsi<sup>2)</sup>

<sup>1,2)</sup>Program Studi Teknik Pengolahan Migas Politeknik Akamigas Palembang, 30257, Indonesia

Corresponding Author E-mail: [sriardhiany@pap.ac.id](mailto:sriardhiany@pap.ac.id) dan [anggi\\_w@pap.ac.id](mailto:anggi_w@pap.ac.id)

**Abstract:** The need for transportation equipment continues to increase from year to year, along with this, the amount of light lubricant waste is also increasing so that a process is needed to process light lubricant waste into something more useful by considering the high hydrocarbon content, namely into liquid fuel by the method. thermal cracking using a thermal reactor. This is done by breaking long or heavy carbon chains into shorter or lighter carbon chains through a heating process using a heater, with 2/3 valve openings, and 2L, 4L, 8L feed variations, the highest volume of product is obtained at a temperature of 400 ° C with feed 8L, a type of used liquid lubricant waste feed with SAE (Society of Automotive Engineers) 15W-40 specifications. Thus light lubricant waste is processed using a thermal process to become an alternative fuel oil.

Keywords: thermal reactor, thermal cracking, light lubricant waste

**Abstrak:** Kebutuhan alat transportasi terus meningkat dari tahun ke tahun, seiring dengan hal tersebut, maka jumlah limbah pelumas ringan juga semakin meningkat sehingga diperlukan proses untuk mengolah limbah pelumas ringan menjadi sesuatu yang lebih berguna dengan mempertimbangkan kandungan hidrokarbon yang tinggi, yaitu menjadi bahan bakar cair dengan metode thermal cracking menggunakan reaktor thermal. Hal ini dilakukan dengan memecah rantai karbon panjang atau berat menjadi rantai karbon yang lebih pendek atau ringan melalui proses pemanasan menggunakan heater, dengan bukaan valve 2/3, serta variasi feed sebesar 2L, 4L, 8L volume produk terbanyak diperoleh pada temperatur 400°C dengan feed 8L, feed jenis limbah pelumas ringan cair dengan spesifikasi SAE (Society of Automotive Engineers) 15W-40. Demikian limbah pelumas ringan diolah menggunakan proses thermal menjadi fuel oil alternatif.

Kata kunci : reaktor thermal, thermal cracking, limbah pelumas ringan

## 1. PENDAHULUAN

Penggunaan kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat seiring meningkatnya daya beli masyarakat Indonesia, dan semakin mudahnya kredit kepemilikan kendaraan bermotor, menurut pernyataan Menteri Perindustrian Airlangga Hartono (Jakarta, 11 mei 2018) di mana pada 2020 diperkirakan Indonesia mampu memproduksi lebih dari 1,29 juta unit kendaraan niaga untuk domestik maupun ekspor. Hal ini menunjukkan bahwa ada kemungkinan besar Peningkatan jumlah kendaraan berpotensi meningkatkan jumlah limbah pelumas ringan kendaraan. Pada kasusnya yang terjadi dalam masyarakat Indonesia dimana sebagian kecil masyarakat masih melakukan pembuangan minyak pelumas di sembarang tempat yang berpotensi

mencemari lingkungan, karena dalam limbah pelumas ringan terkandung kotoran-kotoran logam, aditif, sisa bahan bakar dan kotoran yang lain.

Dari masalah di atas ditemukan solusi untuk memanfaatkan kembali limbah pelumas ringan menjadi bahan bakar cair seperti bensin, minyak, tanah, dan solar. Pengolahan limbah oli menjadi bahan bakar cair masih sedikit dilakukan, karena khususnya di Indonesia limbah pelumas ringan hanya digunakan untuk campuran aspal, pelumas rantai sepeda motor, bahkan limbah pelumas ringan dibuang sembarangan. Deposit minyak limbah pelumas ringan yang dibuang berlebihan dalam tanah, lambat laun akan membentuk suatu emulsi minyak dan air yang dapat menutupi pori-pori di permukaan tanah sehingga menghambat resapan air.

Limbah pelumas ringan merupakan salah satu sumber polutan yang dapat mengkontaminasi air tanah, dan akan merusak kandungan airtanah, bahkan dapat membunuh mikroorganisme di dalam tanah serta dapat menghambat proses oksidasi biologi dari sistem lingkungan. Oleh karena itu, kami ingin mengembangkan pengolahan limbah limbah pelumas ringan menjadi bahan bakar cair.

Limbah pelumas ringan biasanya tersusun dari campuran minyak pelumas dasar, bahan yang tak terurai dan bahan tambahan terdiri dari logam, minyak pernis, getah karet dan komponen-komponen asfaltik konsentrasi tinggi yang berasal dari lapisan di permukaan bantalan dan degradasi komponen pelumas baru. Limbah oli atau limbah minyak pelumas residu oli murni berada di antara C<sub>25</sub> sampai ke C<sub>35</sub> (Fantoni, 2014: 45).

Berbagai metode telah dilakukan untuk mengkonversi limbah pelumas ringan menjadi bahan bakar, yaitu *acid-clay process* dan metode perengkahan (*cracking*). Minyak pelumas baru akan berubah komposisinya setelah digunakan dalam proses pelumasan, sehingga minyak limbah pelumas ringan mengandung beberapa kontaminan. Kandungan sulfur, hidrokarbon dan juga logam-logam (*metals*) seperti kromium (*chromium*) atau timbal (*lead*), membuat minyak limbah pelumas ringan sebagai limbah beracun (*toxic waste*). *Thermal cracking* bertujuan untuk mendapatkan produk cair yang bernilai dari pelumas yang mengandung kontaminan seperti logam, sulfur, dan pengotor lainnya.

## 2. TEORI DASAR

### 2.1 Minyak Pelumas (Oli)

Minyak pelumas atau oli merupakan sejenis cairan kental yang diberikan diantara dua benda yang bergerak untuk melumasi bagian-bagian mesin yang saling kontak dan bergerak relatif satu terhadap yang lain agar mengurangi gaya gesek, sehingga mencegah dan meminimalisir terjadinya keausan. Kode pengenalan dari minyak pelumas biasanya berupa huruf SAE yang merupakan singkatan dari *Society of Automotive Engineers*. Angka

yang mengikuti di belakangnya, menunjukkan tingkat kekentalan minyak pelumas tersebut. Semakin besar angka yang mengikuti kode minyak pelumas menandakan semakin kentalnya minyak pelumas tersebut. Sedangkan huruf W yang terdapat di belakang angka awal, merupakan singkatan dari *Winter*. SAE 15W-40, berarti minyak pelumas tersebut memiliki tingkat kekentalan SAE 15 dan W berarti musim dingin yang menandakan pelumas ini untuk kondisi temperatur dingin dan SAE 40 pada kondisi temperatur panas. Dengan kondisi seperti ini, minyak pelumas akan memberikan perlindungan optimal saat mesin *start* pada kondisi ekstrim sekalipun. Sementara itu, dalam kondisi temperatur normal, idealnya minyak pelumas akan bekerja pada kisaran angka kekentalan 40-50 menurut standar SAE. Beberapa kriteria penting yang harus dipenuhi oleh minyak pelumas antara lain:

- Mengandung cukup deterjen dan dispersan untuk menyerap endapan atau lumpur yang terbentuk.
- Fluiditas harus cukup pada saat awal, yaitu pada saat peralatan masih dingin.
- Tahan terhadap oksidasi pada temperatur tinggi.
- Viskositas harus cukup kental untuk menahan agar bagian peralatan yang bergerak relatif terpisah, tetapi juga harus mencegah kebocoran dari perapat (*seal*).
- Tidak membentuk emulsi dengan air yang masuk dari perapat (*seal*) yang bocor
- Dapat membentuk film yang cukup kuat untuk pelumasan komponen

Sifat-sifat penting minyak pelumas adalah sifat alir dan kemampuan melumasi pada kondisi pemakaian yang berbeda-beda. Sifat alir minyak pelumas ditunjukkan oleh titik tuang (*pour point*) dan viskositas. Sedangkan kemampuan melumasi ditunjukkan dengan ketahanan oksidasi, kemampuan menahan beban gesekan, kandungan karbon residu, belerang, abu, *flash point* dan sifat-sifat lain yang ditentukan dengan pengujian terstandar. Berdasarkan bahan bakunya, minyak pelumas dapat dibedakan menurut bahan dasar yang digunakan, yaitu:

- a. Minyak pelumas dari mineral minyak bumi (petroleum), adalah pelumas yang bahan dasarnya berasal dari hasil penyulingan minyak bumi. Minyak pelumas hanya dihasilkan sebanyak 0,9% dari total produk penyulingan.
- b. Minyak pelumas dari tumbuhan/binatang (lemak binatang), telah dikenal sejak zaman dahulu untuk melumasi roda pedati. Jenis pelumas ini kurang cocok untuk industri karena jumlahnya terbatas, mudah teroksidasi, tidak stabil, dan harganya relatif mahal.
- c. Minyak pelumas sintesis, adalah pelumas yang bahan dasarnya berasal dari proses sintesa hidrokarbon (misalnya *Poly Alpha Olefin*), golongan Ester atau golongan *Alkylated Naphtalen*. Minyak pelumas sintesis terdiri atas minyak pelumas sintesis murni (*full synthetic*) bila bahan dasarnya 100% sintesis, dan semi sintetik (*semi syntetic*) bila bahan dasarnya merupakan campuran antara cairan sintesis dengan base-oil mineral. Jenis minyak ini biasa dipakai sebagai pengganti minyak pelumas dari minyak bumi (*petroleum*) karena keterbatasan sifat minyak pelumas *petroleum*, antara lain karena akan teroksidasi pada temperatur antara 100°C-125°C. Minyak pelumas sintesis digunakan pada peralatan khusus yang memerlukan pelumasan dengan daya lumas lebih kuat atau pelumasan pada temperatur tinggi. Minyak pelumas sintetik juga mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dengan minyak pelumas petroleum yaitu mempunyai kekentalan yang baik terhadap temperatur rendah, lebih mudah larut dan tahan api.

Limbah pelumas ringan dihasilkan dari minyak pelumas yang digunakan pada kendaraan dan mesin-mesin. Pada dasarnya limbah pelumas ringan tersusun dari komponen organik hidrokarbon rantai panjang yang sangat memungkinkan untuk dihasilkan produk cair yang bernilai. Limbah pelumas ringan merupakan salah satu sumber polutan yang dapat mengkontaminasi airtanah, dan akan merusak kandungan airtanah.

## 2.2. Proses *Treating* Limbah Pelumas Ringan

Limbah Pelumas Ringan mengandung berbagai impuritis seperti karbon residu, belerang, abu, dan logam. Limbah pelumas ringan dapat digunakan kembali sebagai pelumas mesin kendaraan dengan proses *treating* terlebih dahulu dengan tujuan mengurangi kandungan impuritis di dalamnya. Berikut ini adalah proses *treating* limbah pelumas ringan.

### a. *Acid-clay process*

Limbah pelumas ringan disaring sehingga partikel-partikel metal akan hilang dan limbah pelumas ringan yang sudah disaring direaksikan dengan asam sulfur (*sulfuric acid*) dan lempung/tanah liat (*clay*) pada temperatur proses 475 – 625 K dalam suatu reaktor untuk menghasilkan bahan bakar. Bahan bakar yang dihasilkan disimpan setelah disaring dan didinginkan. Dalam *acid-clay process*, limbah pelumas ringan direaksikan dengan asam sulfur, dimana akan bereaksi dengan oksigen, nitrogen dan senyawa-senyawa berbasis sulfur, aspal dan zat-zat resin, dan komponen-komponen logam yang dapat larut membentuk lumpur (*sludge*). Masalah utama dalam proses *acid-clay* adalah cara pembuangan yang aman sampah lumpur dalam jumlah banyak dan mengandung asam sulfur.

### b. *Solvent extraction process*

Teknik ekstraksi menggunakan bahan pelarut (*solvents*) adalah salah satu proses yang paling murah. Dalam proses ini zat-zat pencemar (*contaminants*) dibuang dalam sebuah proses pencampuran dengan bahan pelarut dimana didapatkan hasil yang lebih baik daripada menggunakan asam sulfur (*sulfuric acid*).

Limbah pelumas ringan dicampur dengan pelarut alifatik seperti *propane* cair (*butane*, *heptanes*, atau *hexane*) dalam sebuah reaktor. Dalam unit ini, bahan pelarut bekerja secara selektif, memisahkan fraksi minyak dan meninggalkan sedikit kotoran yang terlarut. Pelarut yang diambil kembali dari campuran pelarut-minyak pelumas dalam sebuah kolom distilasi beroperasi pada tekanan atmosfer

sehingga terjadi pengembunan uap-uap pelarut dari puncak kolom tanpa menggunakan *refrigerant*. Sampah lumpur yang dihasilkan dari proses perlakuan dengan pelarut dapat dibuang sebagai sampah yang tak berbahaya dan dapat dijual sebagai aditif untuk aspal. Proses ekstraksi menggunakan bahan pelarut hidrokarbon digunakan untuk mengolah limbah pelumas ringan. Bahan pelarut yang digunakan adalah kondensat *liquefied petroleum gas* (LPG) dan kondensat yang telah distabilkan. Produk cair yang dihasilkan adalah 79%. Proses ini dapat digunakan untuk mengurangi kandungan aspal dari minyak pelumas yang diolah menjadi 0,0106 %w/w. Kandungan abu 0,108 %w/w, residu karbon 0,315 %w/w, dengan tingkat kontaminan logam-logam sangat rendah.

### 2.3. Cracking Process

Salah satu metode dalam mengolah limbah pelumas ringan adalah dengan melalui perengkahan (*cracking*). Perengkahan adalah sebuah proses pengolahan minyak bumi dimana memecah atau merengkahkan fraksi-fraksi minyak bumi dengan titik didih lebih tinggi dan lebih berat menjadi produk-produk yang lebih bernilai seperti bensin (*gasoline*), minyak tanah (*kerosene*), *fuel oil*, dan *gas oil*. Berbagai teknologi tersedia untuk merengkahkan minyak bekas untuk pemakaian sebagai bahan bakar gas atau bahan bakar. Terdapat berbagai macam proses *cracking* yaitu *thermal cracking*, *catalytic cracking* dan *hydrocracking*. Proses perengkahan dari tiga metode tersebut menggunakan cara-cara yang berbeda, berikut penjelasannya:

a. *Thermal cracking* merupakan suatu proses dimana minyak molekul besar dipecah secara *thermos* menjadi minyak yang molekulnya lebih kecil (titik didihnya rendah), pada saat yang bersamaan molekul-molekul yang reaktif akan bereaksi dengan molekul-molekul yang lain sehingga ada kemungkinan terbentuk molekul yang besar bahkan lebih besar dari *feed*. Molekul-molekul yang lebih stabil meninggalkan sistem sebagai *cracked gasoline* (*pressure distillate*) dan yang

reaktif akan berpolimerisasi membentuk *cracked fuel oil* dan bahkan *coke* pada penggunaan komersialnya. Walaupun hasil utama dari *cracking plant* adalah *gasoline*, namun dihasilkan juga minyak *intermediate* yang trayek didihnya antara *gasoline* dan *fuel oil*. *Intermediate* ini disebut *recycle stock*, yang dapat ditahan dalam. (Proses pengolahan migas dan petrokimia, 2013: 162).

- b. *Catalytic cracking* yaitu proses memecah hidrokarbon kompleks menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana. Proses ini menyusun kembali struktur molekul senyawa-senyawa hidrokarbon berat menjadi fraksi-fraksi yang lebih ringan seperti minyak tanah (*kerosene*), bensin (*gasoline*), dan LPG. Katalis yang digunakan dalam unit *cracking* penyulingan biasanya adalah material padat (*zeolite*, *aluminum hydrosilicate*, *treated bentonite clay*, *fuller earth*, *bauxite*, dan *silica-alumina*).
- c. *Hydro cracking* adalah suatu proses perengkahan hidrokarbon secara *catalytic* dengan injeksi  $H_2$  pada temperatur dan tekanan tinggi untuk mendapatkan hasil reaksi yang mempunyai berat molekul rendah. Jadi, pada dasarnya adalah hidrogenasi menunjang peranannya. *Hydrocracking* merupakan unit proses kilang minyak bumi yang termasuk kelompok *secondary processing*, yaitu proses *down stream* kilang minyak bumi yang menggunakan reaksi kimia untuk menghasilkan produk - produknya. Walaupun menggunakan katalis dan prosesnya merengkah umpan, namun seringkali *hydrocracking* tidak dikelompokkan ke dalam *catalytic cracking*. (Proses pengolahan migas dan petrokimia 2013: 197).

### 2.4. Perengkahan Termal (*Thermal Cracking*)

#### 2.4.1 Perengkahan Termal Secara Umum

Secara komersial, proses *thermal cracking* terhadap petroleum fraksi berat dan *residue* dilakukan pada suhu tinggi antara

sekitar 500°C dan tekanannya antara 10 kg/cm<sup>2</sup> sampai dengan 25 kg/cm<sup>2</sup>. *Cracking* merupakan suatu proses dimana minyak molekul besar dipecah secara *thermos* menjadi minyak yang molekulnya lebih kecil (titik didihnya rendah), pada saat yang bersamaan molekul-molekul yang reaktif akan bereaksi dengan molekul-molekul yang lain sehingga terbentuk molekul yang besar bahkan lebih besar dari *feed* stoknya. Molekul-molekul yang lebih stabil meninggalkan *system* sebagai *cracked gasoline (pressure distillate)* dan yang reaktif akan berpolimerisasi membentuk *cracked fuel oil* dan bahkan *coke*. Walaupun hasil utama dari *cracking plant* adalah *gasoline*, namun dihasilkan juga minyak *intermediate* yang *boiling range*-nya antara *gasoline* dan *fuel oil*. *Intermediate* ini disebut *recycle stock*, yang dapat ditahan dalam *cracking system* sehingga mengalami dekomposisi dengan *recycle* didalam sistem yang kontinyu.

#### 2.4.2 Reaksi Kimia Thermal Cracking

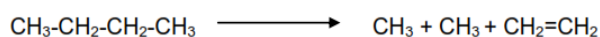
Ada dua tipe reaksi umum yang terjadi pada perengkahan termal, yaitu:

##### 1. Reaksi primer

Reaksi primer yaitu reaksi dekomposisi dari molekul besar menjadi molekul yang lebih kecil. Reaksi primer dijelaskan oleh hasil percobaan Hurd dan Spence pada dekomposisi dari *n-butane* pada 600 °C.



Dan



Pada 600 °C reaksi pertama terjadi sampai 55% dan yang kedua sampai 40% Reaksi-reaksi *dehidrogenasi* menjadi *butane* atau *butadiene* kurang dari 5% Reaksi-reaksi *dehidrogenasi* sebagai berikut:



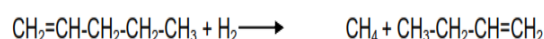
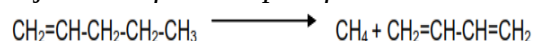
Dan



*Hydrocarbon olefin* biasanya tidak terdapat dalam *raw petroleum stock* dan karenanya dekomposisi dari *olefin* dikategorikan sebagai reaksi dekomposisi sekunder.

##### 2. Reaksi sekunder

Reaksi dimana produk-produk yang aktif berpolimerisasi membentuk material yang besar (berat). Pada saat yang bersamaan hasil polimerisasi akan mengalami dekomposisi. *Cracking* lebih lanjut dari *olefin* menjadi *diolefine* dan *parafine*.



Polimerisasi dari senyawa-senyawa *olefin* yang terbentuk menghasilkan *olefin* yang berat molekulnya lebih besar, misalnya:



Reaksi *cracking* disini pada dasarnya meliputi reaksi-reaksi dekomposisi, polimerisasi dan kondensasi. Prolich dan Fueton menyimpulkan bahwa hidrokarbon *paraffine* adalah yang paling rendah kestabilannya dan kemudian urutannya adalah: *olefine*, *diolefin*, *naphthene* dan *aromatic*. Hal ini berlaku pada suhu *cracking* 750 °F – 1.100°F dan pada senyawa-senyawa yang berat molekulnya sama.

#### 2.4.3. Parameter yang Berpengaruh Pada Thermal Cracking

Seperti telah diuraikan diawal, *thermal cracking* pada dasarnya meliputi proses dekomposisi, polimerisasi dan kondensasi. Karena dalam *cracking* terhadap *straight run stock* seperti *residue* atau *heavydistillate gasoline*, *cracked distillate*, *cracked residue* serta sedikit *coke*.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi hasil *cracking* adalah:

##### 1. Feed Stock

Macam *feed stock* merupakan salah satu *variable* yang penting dalam suatu *cracking*. *Crackbilty* dari hasil-hasil minyak bumi tergantung pada *boilling range* dan komposisi kimiawinya yang ada.

##### 2. Waktu

Proses *cracking* merupakan kombinasi dari sejumlah reaksi yang bermacam-macam sehingga tidak mungkin untuk mengukur kecepatan reaksi matematis secara sempurna tetapi dengan melakukan perumpamaan terjadinya:

- Gas,
- Gasoline*, dan



c. dan hasil-hasil *cracking* lainnya.

### 3. Temperatur

Secara sederhana pengaruh temperatur pada *cracking* dapat dilakukan bahwa makin tinggi temperatur maka makin banyak gas dan *gasoline* yang dihasilkan dan makin sedikit *recycle* yang didapat. Tetapi pembentukan *coke* akan bertambah cepat terjadinya.

### 4. Tekanan

Secara teoritis pada reaksi tingkat pertama, dapat dikatakan tidak tergantung pada tekanan dimana tidak mempengaruhi waktu dari *cracking*. Tetapi pada reaksi tingkat kedua dimana terjadi polimerisasi dan kondensasi pengaruh tekanan akan terlihat. Tekanan mempunyai pengaruh yang besar terhadap sejumlah *feed stock* yang harus ditahan sebagai cairan didalam kolom reaktor. Gambaran pengaruh tekanan dalam *cracking* dapat dikemukakan bahwa tekanan yang rendah (6 - 20 atm) akan dihasilkan banyak gas dan sedikit *gasoline*. Dan pada tekanan yang tinggi (20 - 60 atm) akan dihasilkan sedikit gas dan banyak *gasoline*.

### 5. Ratio recycle

Untuk pengaturan hasil yang didapat khususnya untuk mempertinggi hasil *gasoline*, proses *cracking* biasanya dilengkapi dengan system *recycle*. Pengertian *recycling* disini setelah terlebih dahulu didinginkan dibawah temperatur reaksi *cracking*. *Recycle ratio* dapat dikontrol dengan mengubah kondisi operasi atau mengeluarkan sebagian dari *recycle product*. Dengan memilih *recycle ratio* yang tepat, *crack per pass* melalui *furnace* akan dapat dikontrol.

## 2.5. Sifat-sifat Bahan Bakar Cair

Bahan bakar minyak bumi didapatkan dari minyak mentah (*crude oil*). Analisis *ultimate* minyak mentah menunjukkan komposisi kurang lebih terdiri dari 84% karbon sebagai unsur utama, 3% sulfur, 0,5% nitrogen, 0,5% oksigen, sedikit metal dan mineral. Proses penyulingan (*distillation*) untuk mendapatkan produk seperti bensin (*gasoline*) solar, minyak tanah, minyak bakar (*fuel oil*).

Secara kimiawi, minyak mentah terdiri dari unsur utama alkana (*parafine*) dengan

formula  $C_nH_{2n+2}$ , *cycloalkana* (nafta) dengan formula  $C_nH_{2n}$ , dan aromatik. Minyak mentah juga mengandung alkena (olefin) dengan formula  $C_nH_{2n}$  dimana 2 atom yang bersebelahan membentuk ikatan ganda.

Sifat – sifat bahan bakar cair yang penting adalah nilai kalor, *specific gravity*, viskositas, *flash point*, temperatur *autoignition*, kurva distilasi, kandungan sulfur. Kandungan vanadium dan timbal, angka oktan (untuk bensin), angka cetan (untuk solar), dan *smoke point* (untuk bahan bakar turbin gas).

Sifat-sifat fisik produk cair hasil *Thermal Cracking* selanjutnya akan dibandingkan dengan *properties* standar untuk bahan bakar mesin bensin (*spark ignition*) dan mesin diesel (*compression ignition*) produk Pertamina. Spesifikasi standar bahan bakar diesel ASTM D 975 dan Spesifikasi standar bahan bakar mesin SI otomotif ASTM D 4818 juga digunakan sebagai data pembanding.

#### a. Nilai kalor pembakaran (*heating value*)

Nilai kalor rendah (LHV, *lower heating value*) adalah jumlah energi yang dilepaskan dalam proses pembakaran suatu bahan bakar dimana kalor laten dari uap air tidak diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas pembakaran dibuat 150 °C. Pada temperatur ini air berada dalam kondisi fasa uap. Jika jumlah kalor laten uap air diperhitungkan atau setelah terbakar temperatur gas hasil pembakaran dibuat 25 °C, maka akan diperoleh nilai kalor atas (HHV, *high heating value*). Pada temperatur ini air akan berada dalam kondisi fasa cair.

Salah satu cara untuk mengukur nilai kalor suatu bahan bakar adalah dengan menggunakan *bomb calorimeter*. Caranya adalah dengan membakar bahan bakar yang akan diuji menggunakan arus listrik, kemudian mencatat kenaikan suhu yang terjadi pada kalorimeter kemudian membandingkannya dengan standar asam benzoat untuk mendapatkan nilai kalor bahan bakar tersebut.

#### b. *Specific gravity*

*Specific gravity* adalah densitas bahan bakar cair dibagi dengan densitas air pada temperatur standar. *Specific gravity* merupakan petunjuk awal apakah produk cair

hasil *thermal cracking* lebih mendekati bensin, solar atau minyak bakar. *Specific gravity* disebut juga sebagai densitas relatif. Pada beberapa literatur, digunakan *American Petroleum Institute (API) specific gravity*. Hubungan antara *API specific gravity (G)* dengan *specific gravity konvensional (SG)* adalah:

$$API = \frac{141,5}{SG} - 131,5$$

Densitas atau massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata suatu benda adalah total massa dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah daripada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah. Satuan SI massa jenis adalah  $\text{kg/m}^3$ . Rumus untuk menentukan massa jenis adalah:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Dimana:

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

Alat untuk mengukur SG adalah hidrometer. Untuk bahan bakar, standar ASTM yang digunakan adalah ASTM D1298. SG diukur pada 60/60°F.

#### c. Viskositas kinematik

Viskositas fluida adalah ukuran resistensi fluida untuk mengalir. Untuk bahan bakar cair, viskositas mengindikasikan mudah tidaknya untuk dipompa atau diatomisasi. Viskositas berkurang dengan naiknya temperatur. Viskositas diukur dengan menggunakan viskometer.

ASTM D 445 menyebutkan tentang metode pengujian standar viskositas kinematik untuk cairan transparan dan keruh serta ASTM D 446 tentang spesifikasi standar dan prosedur operasional gelas kapiler pengukur viskositas kinematik. Terdapat 3 jenis viskometer standar untuk mengukur viskositas kinematik, yaitu: viskometer ostwald termodifikasi untuk cairan

transparan, viskometer level tersuspensi untuk cairan transparan dan viskometer aliran balik untuk cairan transparan dan keruh. Viskometer aliran balik lebih fleksibel karena dapat digunakan untuk mengukur viskositas cairan yang tembus cahaya maupun yang tidak tembus cahaya. Viskometer jenis ini dapat digunakan untuk mengukur viskositas sampai dengan 300.000  $\text{mm}^2/\text{s}$ .

#### d. Volatilitas

*Volatility* adalah kemampuan bahan bakar untuk menguap. Ada tiga sifat volatilitas yang biasa digunakan dalam spesifikasi antara lain: kurva distilasi, tekanan uap, dan perbandingan V/L. Dua parameter pertama digunakan dalam spesifikasi bensin di Indonesia. Sedangkan parameter ketiga belum digunakan di Indonesia. Kurva distilasi berkaitan dengan masalah operasi dan unjuk kerja kendaraan bermotor. Bagian ujung depan kurva distilasi berkaitan dengan kemudahan mesin dinyalakan pada waktu dingin, penyalaan pada waktu panas dan kecenderungan mengalami pembentukan es pada karburator. Bagian ujung belakang kurva berkaitan dengan masalah pembentukan getah bensin, pembentukan endapan di ruang bakar dan busi serta pengenceran terhadap minyak pelumas. Sedangkan bagian tengah berkaitan dengan daya dan percepatan, kemulusan operasi serta konsumsi bahan bakar. Beberapa sifat bagian depan kurva distilasi yang disebutkan di atas berkaitan dengan ukuran kedua volatilitas, yaitu tekanan uap.

Pada spesifikasi bensin digunakan pengukuran tekanan uap yang agak khusus, yaitu tekanan uap *reid* (RVP), dimana tekanan uap diukur dalam tabung tekanan udara pada temperatur 100 °F. Kurva distilasi biasanya disajikan dalam grafik hubungan antara temperatur didih dengan fraksi volume yang terdistilasi. Dalam aplikasinya untuk bahan bakar bensin, kurva distilasi adalah salah satu indikator yang paling menentukan sifat penyalaan, kedinamisan akselerasi kendaraan bermotor, dan rentan atau tidaknya bensin menghadapi fenomena *vapour lock* dan pembekuan karburator (*carburetor icing*).

Kurva distilasi juga salah satu faktor terbesar dalam menentukan keekonomisan dari operasi suatu mesin. Tekanan uap, seperti halnya kurva distilasi, menentukan karakter sifat volatilitas dan penyalan awal.

Kurva distilasi dihasilkan dari distilasi hidrokarbon menurut metode baku ASTM D 86. Uji distilasi dilakukan pada tekanan atmosfer. Komponen utama unit uji distilasi adalah labu distilasi, kondenser dan penampung air pendingin, pelindung labu distilasi, pemanas, dudukan labu distilasi, termometer dan labu penampung destilat. Hasil uji kurva distilasi juga dapat ditampilkan dalam bentuk tabel yang memuat persentase evaporasi atau *recovered* versus temperatur.

#### e. *Pour point*

Titik tuang (*pour point*) digunakan sebagai indikator paling mudah untuk mengetahui viskositas. *Pour point* adalah indikasi temperatur terendah dimana bahan bakar cair dapat disimpan dan masih dapat mengalir dengan gaya yang sangat kecil pada apparatus terstandar.

Untuk produk bahan bakar cair, penentuan *pour point* menggunakan standar ASTM D 97. Sampel pertama-tama diberi pemanasan awal kemudian didinginkan pada laju tertentu sambil diamati setiap penurunan 3°C. Temperatur terendah dimana masih ada pergerakan sampel merupakan titik tuang yang dicari.

#### f. *Flash point*

Temperatur terendah dimana bahan bakar akan dengan cepat terbakar apabila berada di dekat nyala api di atas permukaannya. Kemampuan menyala campuran di atas bahan bakar pada beberapa tangki bahan bakar menjadi contoh dari perlu diketahuinya *flash point* suatu bahan bakar. Misal : bensin (*flash point* - 43°C) biasanya sangat mudah menguap (*volatile*) sehingga campuran diatasnya sangat kaya sehingga mudah terbakar, solar (*flash point* 52°C) sangat sukar menguap sehingga campurannya sangat miskin untuk terbakar.

Standar ASTM yang digunakan untuk menentukan *flash point* adalah ASTM D 93. Alat yang digunakan adalah *Pensky-Martens Closed Cup Apparatus/PMCC*. Aparatus ini

terdiri dari cup, penutup dan *shutter*, alat pengaduk, sumber pemanas, sumber nyala, air bath dan plat atas.

#### g. Angka oktan (*octan number*)

Menunjukkan kecenderungan terjadinya ketukan (*knock*) pada pembakaran motor bensin ketika rasio kompresinya dinaikkan. Angka oktan merupakan ukuran kecenderungan bensin untuk mengalami pembakaran tidak normal yang timbul sebagai ketukan mesin. Semakin tinggi angka oktan suatu bahan bakar, semakin berkurang kecenderungannya untuk mengalami ketukan dan semakin tinggi kemampuannya untuk digunakan pada rasio kompresi tinggi tanpa mengalami ketukan.

Angka oktan diukur dengan menggunakan mesin standar, yaitu mesin CFR (*cooperative fuel research*) yang dioperasikan pada kondisi tertentu, dimana bahan bakar dibandingkan dengan bahan bakar rujukan yang terbuat dari n – heptana (angka oktan 0) dan isooktana (angka oktan 100). Ada dua macam angka oktan, yaitu angka oktan riset (RON) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam kondisi pengendaraan biasa dan angka oktan motor (MON) yang memberikan gambaran mengenai unjuk kerja dalam kondisi pengendaraan yang lebih berat.

Metode riset dijalankan pada kondisi temperatur udara inlet 125 °F pada putaran 600 rpm dengan kemajuan percik api 13° sebelum titik mati atas (TMA). Metode riset memberikan *rating* oktan yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan metode oktan motor yang dijalankan pada kondisi udara inlet 300 °F pada putaran 900 rpm dengan kemajuan percik api antara 19-26°. Perbedaan numerik pada dua angka rating ini disebut *sensitivity* dan bernilai nol pada bahan bakar rujukan. *Sensitivity* bervariasi tergantung dari komposisi kimia bahan bakar.

Kecenderungan bahan bakar untuk mengalami ketukan bergantung pada struktur kimia hidrokarbon yang menjadi penyusun bensin. Pada umumnya, hidrokarbon aromatik, olefin dan isoparafin mempunyai sifat anti ketuk yang relatif baik, sedangkan n-paraffin mempunyai angka oktan yang



kurang baik, kecuali yang berat molekulnya rendah.

Bensin yang digunakan sebagai bahan bakar harus memiliki nilai oktan yang sesuai. Untuk mendapatkan bensin dengan angka oktan yang cukup tinggi, dapat dilakukan dengan cara – cara sebagai berikut:

1. Memilih minyak bumi yang mempunyai kandungan aromatik tinggi, dalam trayek titik didih bensin.
2. Meningkatkan kandungan aromatik melalui pengolahan reformasi, atau alkana bercabang, atau olefin bertitik didih rendah.
3. Menambah aditif peningkat angka oktan seperti timbal alkil, biasanya timbal tetra etil (TEL) dan timbal tetra metil (TML).
4. Menggunakan komponen berangka oktan tinggi sebagai ramuan, misalnya alkohol atau eter
- h. Angka cetan (*cetane number*)

Menunjukkan besarnya *ignition delay* (waktu antara mulai injeksi dan mulai proses pembakaran) pada motor diesel. Peringkat angka cetan (CN) suatu bahan bakar berdasarkan *ignition delay* ketika dilakukan tes standar. Karena cetane (n-hexadecane) adalah salah satu hidrokarbon yang paling mudah menyala pada bahan bakar, maka dijadikan memiliki angka cetan 100. Isocetane (heptametilnonane) menyala dengan lambat dan dijadikan standar angka oktan 15. Bahan bakar dibandingkan dengan campuran bahan bakar rujukan pada sebuah mesin *diesel pre-chamber* terstandar dan dinilai dengan campuran yang paling mendekati *ignition delay* bahan bakar uji. Angka cetan campuran rujukan didefinisikan sebagai berikut:

$$CN = (\%n\text{-cetane}) + 0,15(\% \text{ heptamethylnonane})$$

Pada pengujian angka cetan, injeksi diatur tetap pada 13° sebelum titik mati atas (TMA) dan rasio kompresi diubah sampai pembakaran bahan bakar uji dimulai pada t mati atas. Campuran standar ditemukan, yang memberikan *ignition delay* yang sama pada keadaan waktu injeksi dan rasio kompresi yang telah ditentukan tersebut. Tes dilakukan pada putaran 900 rpm dengan

temperatur air 212 °F dan udara inlet 159°F. Karena mesin tes berdesain *pre-chamber*, angka cetan berada paling baik hanya sebuah skala relatif ketika diaplikasikan pada mesin *open chamber*.

Jika mesin tes tidak tersedia atau keadaan dimana jumlah sampel tidak mencukupi untuk menyalakan mesin tes, angka Cetan dapat ditentukan dengan rumusan. Angka cetan ini disebut Angka Cetan Hitung/*Calculated Cetane Index* (CCI). Rumusan Angka Cetan Hitung merupakan cara untuk mendekati angka Cetan bahan bakar menurut standar ASTM D 976 dengan variabel *API gravity* dan 50% titik didih kurva distilasi.

#### i. Warna

Penentuan warna suatu bahan bakar sangat penting untuk pengontrolan proses produksi dan warna merupakan karakteristik kualitas yang penting karena warna merupakan hal pertama yang diamati oleh pengguna. Warna juga merupakan indikator sempurna atau tidaknya proses pemurnian bahan bakar. Jika rentang warna suatu bahan bakar sudah diketahui, maka warna selain pada rentang tersebut merupakan indikasi adanya pengotor atau pencemar.

Standar ASTM yang digunakan untuk menentukan warna bahan bakar petroleum adalah ASTM D1500. Pengujian ini dilakukan secara visual. Pertama- tama sampel diletakkan pada suatu gelas bening terstandar, dengan penerangan lampu terstandar kemudian dibandingkan dengan piringan-piringan gelas berwarna terstandar yang mempunyai rentang nilai dari 0,5-8,0. nilai warna ini selanjutnya disebut warna ASTM.

## 2.6. Reaktor

Reaktor adalah suatu alat proses terjadinya suatu reaksi kimia berlangsung. Menurut Caccavale (2011:10), “Reaksi kimia terjadi hampir di mana-mana dilingkungan, Namun bahan kimia reaktor didefinisikan sebagai perangkat yang dirancang dengan baik untuk membiarkan reaksi terjadi di bawah kondisi terkendali terhadap produk yang ditentukan”. Pada desain reaktor sangat sulit

untuk menentukan berapa ukuran dan tipe reaktor serta metode operasi yang paling baik untuk digunakan. Karena, temperatur dan komposisi dari fluida yang bereaksi mungkin berbeda-beda dalam reaktor, yang tergantung pada karakteristik dari reaksi eksotermis dan tergantung pada laju penambahan panas atau penghilangan panas dari sistem. Pengaruhnya dikarenakan beberapa faktor yang harus dipertimbangkan untuk memprediksi *performance* reaktor.

Reaktor kimia adalah sebuah alat industri kimia, dimana terjadi reaksi bahan mentah menjadi hasil jadi yang lebih berharga, untuk mendukung agar reaktor dapat berfungsi maksimal dan aman terkendali maka diperlukan sistem pengendalian proses yang menggunakan beberapa alat tambahan atau asesoris.

Beberapa contoh dari asesoris tersebut umumnya adalah:

1. *Pressure Controller* (PC), Suatu alat yang bertugas untuk menjaga agar tekanan dalam reaktor masih berada pada kisaran yang ditetapkan.
2. *Temperature Controller* (TC), Suatu alat yang bertugas agar suhu di dalam reaktor masih berada dalam kisaran suhu operasinya.

### 2.6.1 Tujuan pemilihan reaktor adalah:

Dalam pemilihan reaktor ada beberapa tujuan yang akan dicapai, yaitu:

1. Mendapat keuntungan yang besar
2. Biaya produksi rendah
3. Modal kecil/volume reaktor minimum
4. Operasinya sederhana dan murah
5. Keselamatan kerja terjamin
6. Polusi terhadap sekelilingnya (lingkungan) dijaga sekecil-kecilnya

### 2.6.2 Pemilihan jenis reaktor dipengaruhi oleh:

1. Fase zat pereaksi dan hasil reaksi
2. Tipe reaksi dan persamaan kecepatan reaksi, serta ada tidaknya reaksi samping
3. Kapasitas produksi
4. Harga alat (*reactor*) dan biaya instalasinya.

5. Kemampuan *reactor* untuk menyediakan luas permukaan yang cukup untuk pemindahan panas.

### 2.6.3 Jenis-jenis Reaktor

- a. Berdasarkan bentuknya

#### 1. Reaktor tangki

Dikatakan reaktor tangki ideal bila pengaduknya sempurna, sehingga komposisi di dalam reaktor setiap saat selalu *uniform*. Dapat dipakai untuk proses *batch*, *semi batch*, dan proses alir.

#### 2. Reaktor pipa

Biasanya menggunakan tanpa pengaduk sehingga disebut reaktor alir pipa. Dikatakan ideal bila zat pereaksi yang berupa gas atau cairan, mengalir di dalam pipa dengan arah sejajar sumbu pipa.

- b. Berdasarkan prosesnya

#### 1. Reaktor *Batch*

Reaktor *batch* adalah reaktor di mana tidak terjadinya aliran masuk atau berkapasitas kecil. Biasanya untuk reaksi fase cair dan digunakan pada kapasitas produksi yang kecil.

Keuntungan reaktor *batch*:

- 1) Lebih mudah operasinya
- 2) Lebih mudah dikontrol

Kerugian reaktor *batch*:

- 1) Tidak begitu baik untuk reaksi fase gas (mudah terjadi kebocoran pada lubang pengaduk)
- 2) Waktu yang dibutuhkan lama, tidak produktif (untuk pengisian, pemanasan zat pereaksi, pendinginan zat hasil, pembersihan reaktor, waktu reaksi)

#### 2. Reaktor alir (*continuous flow*)

Ada dua jenis:

- 1) RATB (Reaktor Alir Tanki Berpengaduk)

Reaktor Alir Tanki Berpengaduk hampir sama dengan reaktor *batch* tetapi umpan dan produk mengalir secara kontinu dan pada reaktor RATB dilengkapi dengan alat penambahan zat pereaksi dan pengambilan produk secara kontinu

Keuntungan RATB:

- a) Suhu dan komposisi campuran dalam reaktor sama.

- b) Volume reaktor besar, maka waktu tinggal juga besar, berarti zat pereaksi lebih lama bereaksi di reaktor.

Kerugian RATB:

- a) Tidak efisien untuk reaksi fase gas dan reaksi yang bertekanan tinggi.
- b) Kecepatan perpindahan panas lebih rendah dari RAP
- c) Untuk menghasilkan konversi yang sama, volume yang dibutuhkan RATB lebih besar dari RAP.

### 2) RAP (Reaktor Alir Pipa)

RAP merupakan reaktor di mana reaksi kimia berlangsung secara kontinu sepanjang sistem aliran. RAP ini digunakan untuk memperkirakan sifat-sifat reaktor kimia. Dikatakan ideal jika zat pereaksi dan hasil reaksi mengalir dengan kecepatan yang sama di seluruh penampang pipa.

Keuntungan RAP adalah memberikan volume yang lebih kecil dari RATB, untuk konversi yang sama.

Kerugian RAP:

- a) Harga alat dan biaya instalasi tinggi
- b) Memerlukan waktu untuk mencapai kondisi *steady state*
- c) Untuk reaksi eksotermis kadang-kadang terjadi *hot spot* (bagian yang suhunya sangat tinggi) pada tempat pemasukan. Dapat menyebabkan kerusakan pada dinding reaktor.

### 3) Reaktor *Semi Batch*

Reaktor *Semi Batch* atau semi alir biasanya berbentuk tangki yang berpengaduk. Cara operasinya dengan jalan memasukan sebagian zat pereaksi atau salah satu zat pereaksi ke dalam reaktor sedangkan zat pereaksi yang lain atau sisanya dimasukkan secara kontinyu ke dalam reaktor.

Dalam perancangan yang Penulis lakukan menggunakan reaktor *batch* (sederhana) dengan jenis reaktor pipa. Reaktor *Batch* adalah reaktor di mana tidak terjadinya aliran masuk atau berkapasitas kecil, biasanya untuk reaksi fase cair dan digunakan pada kapasitas produksi yang kecil sedangkan reaktor pipa biasanya digunakan tanpa pengaduk sehingga disebut

reaktor pipa. Tetapi dalam perancangan alat ini penulis menggunakan bahan baku dengan fase *liquid* untuk dirubah menjadi fase gas dengan menggunakan *thermal* (panas) tanpa menggunakan katalis sebagai pereaksi. Jadi alat yang penulis buat bisa disebut dengan reaktor *batch* jenis pipa.

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Alat

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Reaktor *thermal*,
2. *Heater*,
3. *Condensor*,
4. *Air cooler*,
5. *Termokopel*,
6. *Pressure gauge*,
7. Pompa sentrifugal,
8. Elenmeyer,
9. Gelas ukur, dan
10. *Hand tools*.

### 3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Limbah Pelumas Ringan jenis SAE 15W-40, dan
2. *Aquadest*.

### 3.2 Langkah Kerja

Cara kerja yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Aktifkan *cooling circulation system*
2. Atur suhu maksimum pada temperatur 400 °C maka ini akan mengatur pemanas agar menjadikan kondisi operasi reaktor dimana dengan temperatur maksimal 400 °C lalu aktifkan pemanas (*heater*)
3. Aktifkan pemanas reactor maka sistem pemanas akan terus memasok energi panas kedalam reaktor dari temperature ruangan hingga mencapai temperatur maksimal yang telah diatur.
4. Pada reaktor, sebelumnya telah dipasang termokopel tipe K yang terhubung dengan *thermocouple reader* dan termokontroler sedemikian rupa sehingga termokopel secara kontinyu dapat mendeteksi

perubahan temperatur yang diamati dan di catat setiap kenaikan suhu 60 °C.

5. Setelah beberapa saat, gas-gas hasil *thermal cracking* setelah melalui kondensor akan keluar menjadi produk cair. Produk cair *thermal cracking* ini ditampung dalam bejana yang terbuka sehingga produk yang dapat terkondensasi akan menjadi kondensat dan produk yang tak dapat terkondensasi akan terbuang kelingkungan.
6. Setelah sampai 240 menit maka waktu operasi reaktor dihentikan. Untuk selanjutnya mematikan pemanas listrik dan pompa sirkulasi air kondensor, kemudian mengukur produk yang tertampung menggunakan gelas ukur.
7. Melakukan analisa sifat-sifat (*properties*) produk cair hasil *thermal cracking* minyak pelumas bekas yang diperoleh.
8. Mengulangi langkah-langkah ini untuk variasi volume *feed*.

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

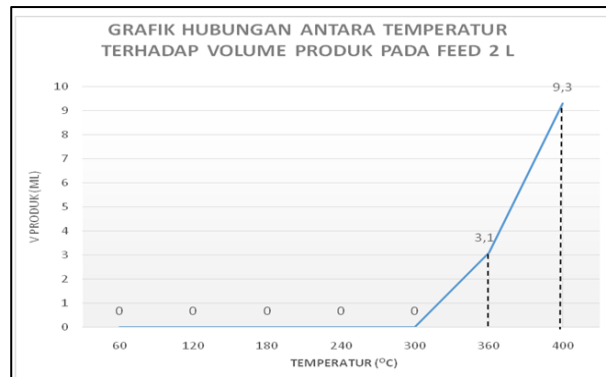
##### 4.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan *running* 01 sampai *running* 03 dengan volume *feed* 2 liter, 4 liter, 8 liter, yaitu pengamatan proses *thermal cracking* limbah pelumas ringan dengan variabel tetap bukaan *valve* 2/3, tekanan 1 atm, suhu maksimum 400 °C, lama waktu tinggal 240 menit dan variabel bebas, yaitu temperatur dengan volume produk. Metode pengamatan perubahan setiap 60 °C, didapatkan produk yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Data Volume Total Produk Terhadap Temperatur

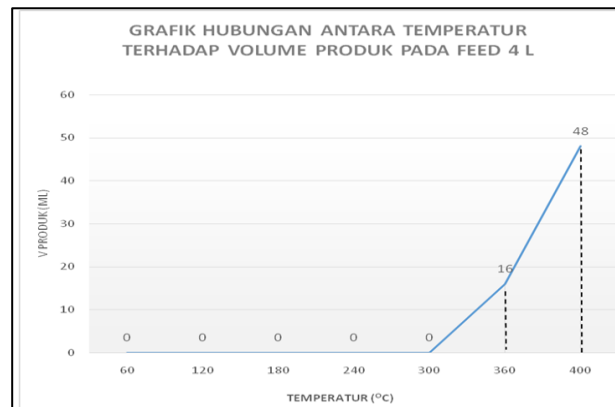
| Volume feed 2 L     |                    | Volume feed 4 L     |                    | Volume feed 8 L     |                    |
|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| T (°C)              | Volume Produk (ml) | T (°C)              | Volume Produk (ml) | T (°C)              | Volume Produk (ml) |
| 60                  | 0                  | 60                  | 0                  | 60                  | 0                  |
| 120                 | 0                  | 120                 | 0                  | 120                 | 0                  |
| 180                 | 0                  | 180                 | 0                  | 180                 | 0                  |
| 240                 | 0                  | 240                 | 0                  | 240                 | 0                  |
| 298*                | 0                  | 298                 | 0                  | 298*                | 27,7               |
| 300                 | 0                  | 300                 | 0                  | 300                 | 0                  |
| 333*                | 3,1                | 333                 | 0                  | 333*                | 0                  |
| 355*                | 0                  | 355*                | 16                 | 355*                | 0                  |
| 360                 | 0                  | 360                 | 0                  | 360                 | 83,3               |
| 400                 | 9,3                | 400                 | 48                 | 400                 | 139                |
| Volume Total Produk | 12,4               | Volume Total Produk | 64                 | Volume Total Produk | 250                |

#### 4.2 Pembahasan



**Gambar 4.1** Hubungan Antara Volume Total Produk Terhadap Temperatur Pada *Feed* 2 Liter

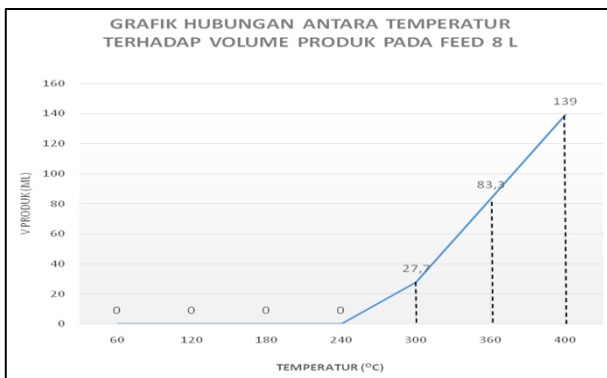
Berdasarkan gambar di atas terlihat bahwa semakin tinggi temperatur operasi maka akan semakin besar jumlah produk yang dihasilkan. Pada bukaan *valve* 2/3, volume produk maksimal terjadi pada range temperatur 360°C-400°C dengan hasil volume produk sejumlah 9,3 ml dan total produk keseluruhan sebanyak 12,4 ml yang artinya 0,62% dari jumlah *feed* awal, yaitu 2000 ml.



**Gambar 4.2** Hubungan Antara Volume Total Produk Terhadap Temperatur Pada *Feed* 4 Liter

Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa semakin tinggi temperatur operasi maka akan semakin besar jumlah produk yang dihasilkan. Pada bukaan *valve* 2/3, volume produk maksimal terjadi pada range temperatur 360°C-400°C dengan hasil volume produk sejumlah 35,6 ml dan total produk

keseluruhan sebanyak 64 ml yang artinya 1,6% dari jumlah *feed* awal, yaitu 4000 ml.



**Gambar 4.3** Hubungan Antara Volume Total Produk Terhadap Temperatur Pada *Feed* 8 Liter

Berdasarkan grafik di atas terlihat bahwa semakin tinggi temperatur operasi maka akan semakin besar jumlah produk yang dihasilkan. Pada bukaan valve 2/3, volume produk maksimal terjadi pada *range* temperatur 360°C - 400°C dengan hasil volume produk sejumlah 139 ml. Untuk total produk keseluruhan sebanyak 250 ml yang artinya 3,125% dari jumlah *feed* awal yaitu 8000 ml.



**Gambar 4.4** Produk *Running* 2 liter



**Gambar 4.5** Produk *Running* 4 liter



**Gambar 4.6** Produk *Running* 8 liter

#### 1. Perhitungan persentase produk

##### a. Volume feed 2 L

$$\begin{aligned} V \text{ sisa} &= V \text{ feed} - V \text{ produk} \\ &= 2.000 \text{ ml} - 12,4 \text{ ml} \\ &= 1.987,6 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ produk} &= \left( \frac{v \text{ produk}}{v \text{ feed}} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{12,4 \text{ ml}}{2.000 \text{ ml}} \right) \times 100 \% \\ &= 0,0062 \times 100 \% \\ &= 0,62\% \end{aligned}$$

##### b. Volume feed 4 L

$$\begin{aligned} V \text{ sisa} &= V \text{ feed} - V \text{ produk} \\ &= 4.000 \text{ ml} - 64 \text{ ml} \\ &= 3.936 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ produk} &= \left( \frac{v \text{ produk}}{v \text{ feed}} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{64 \text{ ml}}{4.000 \text{ ml}} \right) \times 100 \% \\ &= 0,016 \times 100 \% \\ &= 1,6\% \end{aligned}$$

##### c. Volume feed 8 L

$$\begin{aligned} V \text{ sisa} &= V \text{ feed} - V \text{ produk} \\ &= 8.000 \text{ ml} - 250 \text{ ml} \\ &= 7.750 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ produk} &= \left( \frac{v \text{ produk}}{v \text{ feed}} \right) \times 100 \% \\ &= \left( \frac{250 \text{ ml}}{8.000 \text{ ml}} \right) \times 100 \% \\ &= 0,03125 \times 100 \% \\ &= 3,125\% \end{aligned}$$

#### 2. Perhitungan analisa viskositas ASTM D-445

Run 01 = tidak terukur

$$\begin{aligned} \text{Run 02} &= 28,85 \text{ detik} \times C \\ &= 28,85 \text{ detik} \times 0,05 = 1,4425 \text{ cst} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Run 03} &= 27,94 \text{ detik} \times C \\ &= 27,94 \text{ detik} \times 0,05 = 1,397 \text{ cst} \end{aligned}$$

$$\text{Viskositas Feed} = 1.045 \text{ detik} \times C$$



$$= 1.045 \text{ detik} \times 0,05 = 52,25 \text{ cst}$$

### 3. Perhitungan Analisa SG Produk

Run 01= densitas Tidak terukur

$$\text{Run 02} = 7,09 \text{ g/10ml} = 0,709 \text{ g/ml}$$

$$\text{Run 03} = 7,7 \text{ g/10ml} = 0,77 \text{ g/ml}$$

SG

Run 01= tidak terukur at 30°C

$$\text{Run 02} = \frac{\text{densitas zat}}{\text{densitas zat referensi}} = \frac{0,709 \text{ g/ml}}{1 \text{ g/ml}} = 0,709 \text{ at } 30^\circ\text{C}$$

$$\text{Run 03} = \frac{\text{densitas zat}}{\text{densitas zat referensi}} = \frac{0,77 \text{ g/ml}}{1 \text{ g/ml}} = 0,77 \text{ at } 30^\circ\text{C}$$

Faktor Koreksi Suhu

$$C = (1,313454 - (0,132674 \times T^\circ\text{F}) + 2,057793 \times 10^{-3} \times (86^2)) - (2,627634 \times 10^{-6} \times (T^\circ\text{F}))$$

$$\text{Temperatur pengukuran } 30^\circ\text{C} = (9/5) + 32 = 86^\circ\text{F}$$

$$C = (1,313454 - (0,132674 \times 86^\circ\text{F}) + 2,057793 \times 10^{-3} \times (86^2)) - (2,627634 \times 10^{-6} \times (86^\circ\text{F})) = 5,12270$$

$$C = 5,12270$$

SG terkoreksi

SG produk Run 01 = tidak terukur

$$\begin{aligned} \text{SG produk Run 02} &= \text{SG} + 0,001 \times C \\ &= 0,709 + 0,001 \times 5,12270 \\ &= 0,714 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SG produk Run 03} &= \text{SG} + 0,001 \times C \\ &= 0,77 + 0,001 \times 5,12270 \\ &= 0,7751 \end{aligned}$$

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil sebagai berikut:

1. Limbah pelumas bekas dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair dengan cara metode *Thermal cracking*
2. Semakin tinggi temperatur yang terjadi maka semakin banyak volume produk yang didapat, parameter yang mempengaruhi produk seperti Temperatur operasi, Volume feed, dan Jenis feed.
3. Semakin banyak volume *feed* yang digunakan maka kenaikan temperature

akan semakin lambat dan semakin banyak volume feed yang digunakan maka volume produk yang dihasilkan juga semakin banyak.

## DAFTAR PUSTAKA

Amin. Mustaghfirin. 2014. *Proses Pengolahan Migas dan Petrokimia*. Jakarta: Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan RI.

Caccavale. 2011. *Control and Monitoring of Chemical Batch Reactors, Advances in Industrial Control*. London: Springer.

Demirbas. A. 2005. *Potential Applications of Renewable Energy Sources, Biomass Combustion Problems in Boiler Power Systems and Combustion Related Environmental Issues. Progress in Energy and Combustion Science*. Washington DC: US Department of Energy Report.

Fantoni, Zainuddin. 2014. *Produk Migas*. Palembang: Politeknik Akamigas Palembang.

Kern. D. Q. 1950. *Process Heat Transfer*. Tokyo: McGraw-Hill International Book Company.

Perry. R. H. dan Green. D. W. 2007. *Chemical Engineer Handbook*. New York: McGraw-Hill International Book Company.

Pertamina. 2015. *Heavy Duty Diesel Oil*. Jakarta: Pertamina.

