



## **Pengaruh Temperatur pada Rendemen dan Karakteristik Produk pada Perengkahan Katalitik Limbah Tar Batubara menjadi Bahan Bakar Cair**

**Atti Sholihah<sup>1,3\*</sup>, Trisaksono Bagus Priambodo<sup>2</sup>, Isalmi Aziz<sup>3</sup>, Imron Masfuri<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional

<sup>2</sup> Pusat Riset Teknologi Industri Proses dan Manufaktur, Badan Riset dan Inovasi Nasional

<sup>3</sup> Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah

<sup>4</sup> Pusat Riset Konversi dan Konservasi Energi, Badan Riset dan Inovasi Nasional

\*Penulis korespondensi, Surel: [atti.sholihah@brin.go.id](mailto:atti.sholihah@brin.go.id)

### **Abstrak**

Peningkatan kebutuhan energi bahan bakar dan tingginya produksi limbah merupakan permasalahan yang muncul seiring bertambahnya penduduk. Tar batubara merupakan limbah hasil gasifikasi batubara yang mengandung hidrokarbon panjang yang bisa diolah menjadi bahan bakar cair setara minyak diesel melalui perengkahan. Penelitian ini, dilakukan dengan proses perengkahan katalitik pada limbah tar menggunakan katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh temperatur terhadap rendemen dan karakteristik dari produk. Perengkahan tar dilakukan dalam reaktor unggun tetap pada variasi temperatur 300, 400, dan 500°C dengan waktu perengkahan selama 7 jam dan berat katalis 0,6% dari berat tar. Diperoleh kondisi optimum perengkahan yaitu pada temperatur 400°C. Kondisi tersebut menghasilkan minyak setara diesel dengan rendemen tertinggi sebesar 76,90% serta karakteristik bahan bakar dengan kadar sulfur yaitu sebesar 0,29%, nilai viskositas 2,90 cSt, nilai titik nyala 73°C, nilai kalor 9173 kal/gram, dan angka setana 61.

**Kata kunci:** perengkahan katalitik; limbah batubara; bahan bakar cair

### **Abstract**

*The demand for fuel energy and waste production increases as the population grows. Coal tar is a waste product of coal gasification that contains long hydrocarbons that can be cracked into a liquid fuel similar to diesel oil. In this study, catalytic cracking of tar waste was carried out using a NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst. The purpose of this study is to determine the effect of temperature on yield and product characteristics. Tar cracking was performed in a fixed bed reactor at temperatures ranging from 300°C, 400°C, and 500°C, with a cracking time of 7 hours and a catalyst weight of 0.6% of the tar weight. The best cracking conditions were obtained at 400°C. These conditions yield diesel equivalent oil with the highest yield of 76.90% and fuel characteristics such as 0.29% sulfur content, 2.90 cSt viscosity, 73°C flash point, 9173 cal/gram heating value, and cetane 61.*

## **1. Pendahuluan**

Pada tahun 2019, sektor transportasi merupakan kebutuhan energi terbesar di Indonesia yaitu 42% dari 989,9 juta SBM dan didominasi oleh BBM (Bahan Bakar Minyak) (Adi & Lasnawatin, 2018). Berdasarkan skenario BAU (Business as usual), laju pertumbuhan kebutuhan BBM dan kebutuhan energi di sektor transportasi diproyeksi meningkat setiap tahunnya yaitu 2,8% dan 3,9%. Selain itu kebutuhan energi untuk mesin diesel juga diperkirakan meningkat dari 34% pada tahun 2019 ke 39% pada tahun 2050 (Riza, dkk., 2021). Dilain hal produksi minyak bumi di Indonesia mengalami penurunan dalam 10 tahun terakhir dari 346 juta barel pada tahun 2009 ke 283 juta barel di tahun 2018 (Siswanto & Mujiyanto, 2019). Pada tahun 2019 cadangan minyak bumi juga menurun dari 2,5 miliar BSTB (Standar Barel Tangki) ke 3,2 BSTB tahun 2019 (Riza, dkk., 2021).

Batubara merupakan sumber energi fosil selain minyak bumi. Salah satu pemanfaatannya yaitu dengan teknologi gasifikasi batubara. Gasifikasi batubara adalah proses sintesis gas batubara dimana terjadi proses perubahan bahan bakar padat secara termokimia menjadi gas (Sasongko, dkk., 2011). Namun, teknologi ini menghasilkan hasil samping yang berisiko terhadap lingkungan yaitu berupa arang, abu dan tar batubara. Tar batubara mengandung fenol, BTEX, dan senyawa organik yang mudah menguap lainnya seperti PAH (*polycyclic aromatic hydrocarbon*) yang bisa mencapai 85% (BRIN, 2022). Senyawa tersebut beracun menyebabkan kanker dan dapat larut dalam air (Sofranko, dkk., 2013). Hal itu menyebabkan tar batubara termasuk sebagai bahan berbahaya dan beracun yang tidak bisa dihilangkan hanya dengan perlakuan awal sehingga banyak limbah tar yang tidak diolah (Ardhyarini, dkk., 2013). Sifat fisika dan kimia tar batubara mirip dengan minyak bumi sehingga bisa diolah menjadi bahan bakar. Namun, tar memiliki kadar poliaromatik dan pengotor yang tinggi sehingga harus dilakukan perlakuan (Salim, dkk., 2009).

Untuk memperoleh rantai hidrokarbon yang lebih pendek maka tar diperlukan untuk dilakukan perengkahan. Perengkahan adalah proses memecah rantai polimer menjadi senyawa dengan berat molekul yang lebih rendah (Panda, 2011). Perengkahan merupakan salah satu cara untuk mengolah tar lebih lanjut menjadi bahan bakar cair sintesis yang setara minyak gasolin maupun diesel. Terdapat beberapa cara perengkahan, yaitu perengkahan termal, perengkahan katalitik, dan perengkahan hidro (Li, *et al.*, 2013). Metode perengkahan katalitik dinilai lebih efisien dan efektif dibanding dengan metode perengkahan termal (Masfuri & Hanif, 2014).

Perengkahan katalitik memerlukan temperatur relatif rendah sekitar 400-550°C dan mengurangi waktu reaksi dibandingkan perengkahan termal (Peng, *et al.*, 2013) (Shun, *et al.*, 2013). Jenis katalis konvensional yang sering digunakan untuk proses perengkahan adalah jenis katalis bimetal diantaranya adalah CoMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> (Pramesti, dkk., 2014). Salah satu komponen tar yaitu 1-metilnaftalena dapat dikonversi lebih dari 95% pada temperatur 550°C dengan menggunakan katalis NiMo (Dou, *et al.*, 2003). Alumina pada NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> merupakan yang paling lazim digunakan sebagai katalis. Gamma-alumina mempunyai luas permukaan spesifik 100-200 m<sup>2</sup>/g. NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki kandungan logam yang lebih tinggi dibanding  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ni/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr-Ni/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr-Mo-Ni/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yaitu 3,87%. Konversi tertinggi juga dihasilkan NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan total konversi mencapai 83,65% (Amiruddin & Trisunaryanti, 2002). Katalis berbasis nikel memiliki keunggulan yaitu secara efektif dapat mengonversi tar menjadi produk (Dou, *et al.*, 2003). Perengkahan katalitik pada residu minyak menggunakan temperatur reaktor 340°C dengan katalis NiMo menghasilkan konversi 60-65% sedangkan dengan perengkahan termal menghasilkan produk konversi sebesar 51,43% (Syamsuddin, *et al.*, 2005).

Dalam penelitian ini, dilakukan proses perengkahan katalitik pada tar batubara dengan menggunakan katalis NiMo/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang biasa digunakan pada minyak. Penggunaan katalis diyakini bisa menghasilkan produk konversi dari tar batubara lebih tinggi dari pada perengkahan termal. Variabel temperatur reaktor yang digunakan yaitu dengan variasi temperature 300, 400, dan 500°C. Temperatur yang rendah dibandingkan perengkahan termal yang biasa digunakan pada proses perengkahan minyak bumi.

## 2. Metode

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 6 bulan mulai bulan Februari 2017 sampai Juli 2017. Tempat pelaksanaan penelitian di laboratorium, Pusat Teknologi

Pengembangan Sumberdaya Energi dan Industri Kimia (PTSEIK), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Serpong, Tangerang Selatan.

### 2.1. Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan yaitu limbah tar hasil gasifikasi Batubara dari industri keramik PT. Sango Ceramics Indonesia tahun 2014, Semarang-Jawa Tengah. Katalis komersial NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Pertamina), solar-dex, akuadest, aseton teknis, alkohol teknis, metanol teknis, *monocarbon tetrachloride* (CCl<sub>4</sub>) p.a, *methoxy benzene* (anisole) p.a, *nitrogen flushing*, es, dan *combustion aid*.

Peralatan yang digunakan yaitu unit perengkahan tar (Gambar 1), unit distilasi vakum, alat analisis sulfur (LECO Sulfur Analyzer 632, Jerman), alat analisis titik tuang (Lauda Proline Kryomat RP 4050 C, Amerika Serikat), alat analisis titik nyala (Miniflash Ametek, Austria), viskometer (Lauda ECO 18 S/G, Amerika Serikat), angka setana (Zeltex.inc, Amerika Serikat), otomatis bomb kalorimetri (IKA C6000, Jerman), alat gelas, corong besar, spatula, dan *crucible*.

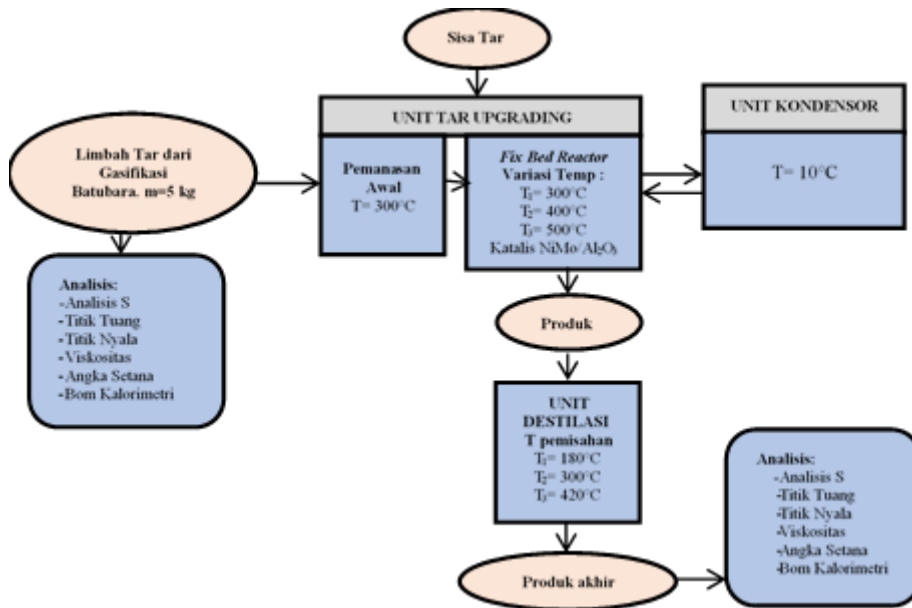


Gambar 1. Unit perengkahan tar batubara

Peralatan yang digunakan yaitu unit perengkahan tar (Gambar 1), unit distilasi vakum, alat analisis sulfur (LECO Sulfur Analyzer 632, Jerman), alat analisis titik tuang (Lauda Proline Kryomat RP 4050 C, Amerika Serikat), alat analisis titik nyala (Miniflash Ametek, Austria), viskometer (Lauda ECO 18 S/G, Amerika Serikat), angka setana (Zeltex.inc, Amerika Serikat), otomatis bomb kalorimetri (IKA C6000, Jerman), alat gelas, corong besar, spatula, dan *crucible*.

### 2.2. Prosedur

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan (Gambar 2). Pertama, bahan baku tar diuji karakteristik nya yaitu diuji kadar sulfur (ASTM D 1552), viskositas (ASTM D445), nilai kalor (ASTM D240-02), nilai titik tuang (ASTM D97), nilai titik nyala (ASTM D 6450), dan angka setana (AST D 2699 dan D 2900). Kedua, pengecekan alat perengkahan tar yang terdiri dari pemanas, reaktor unggun tetap, kondensor, dan vakum destilasi.. Tahap ketiga yaitu pemanasan bahan baku tar sebanyak 7 kg pada temperatur 300°C, kemudian dialirkan ke unit perengkahan dengan ditambahkan katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sebanyak 300 gram dengan variabel variasi temperatur reaktor yaitu 300, 400, dan 500°C. Selanjutnya, produk hasil perengkahan didistilasi dan dianalisis kualitas produk. Analisis kualitas bahan dan produk *upgrading* tar sama seperti uji karakteristik pada bahan baku tar batubara.



Gambar 2. Diagram alir proses perengkan katalitik tar batubara dengan katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Karakteristik Tar Hasil Gasifikasi Batubara

Tar batubara diuji karakteristik bahan bakarnya. Hasil uji karakteristik tar dibandingkan dengan standar dan mutu bahan bakar minyak jenis minyak solar dari ESDM (2020) (ESDM, 2020). Hasil uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 bahan baku tar batubara memiliki kadar sulfur 0,67%. Nilai rata-rata dari kadar sulfur pada minyak berat berada dalam rentang 0,03% hingga 7,89%. Komponen sulfur akan mengalami perubahan seiring dengan perubahan pemanasan. Sulfur yang terdapat pada uap hasil pemanasan tar tidak akan terbawa semua. Banyaknya tar yang terbawa bergantung pada suhu pemanasan yang digunakan (Heinrich & Kasztelaan, 2001).

Tabel 1. Karakteristik tar batubara dan standar solar

Parameter	Standar Solar ESDM (2020)	Tar
Sulfur (%)	maks 0,25	0,67
Viskositas (cSt)	2,0 - 4,5	nil
Titik Tuang (°C)	maks 18	42
Titik Nyala (°C)	min 52	nil
Nilai Kalor(kal/g)	Nil	9999
Angka Setana	min 48	nil

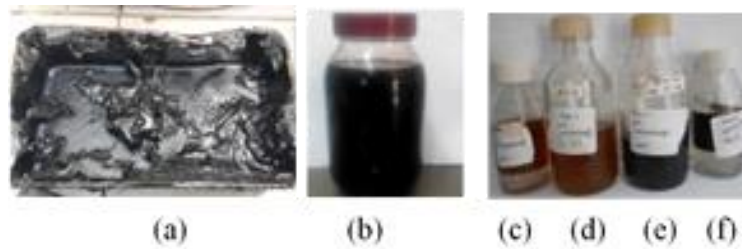
Nilai viskositas bahan baku tar batubara tidak dapat dianalisis. Pada temperatur analisis yaitu 40°C tar batubara tidak dapat mengalir. Selain itu, Titik nyala dari tar batubara tidak bisa dideteksi. Hal ini bisa disebabkan nilai titik nyala dari tar batubara tidak berada pada rentang kemampuan deteksi alat yaitu 0-200°C. Kedua hal itu dikarenakan karena tar batubara merupakan campuran senyawa hidrokarbon berantai panjang yang sangat kompleks terdiri dari beberapa senyawa dengan gugus fungsi berbeda dan didominasi senyawa

poliaromatik sehingga mempengaruhi nilai viskositas dan titik nyala nya menjadi lebih tinggi (Shun, *et al.*, 2013) (Setiadii, *et al.*, 2005).

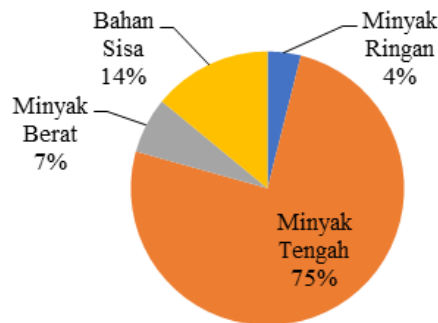
Nilai kalor pada tar batubara adalah sebesar 9999 kal/gram sedangkan nilai kalor solar yaitu 10900 kal/gram (Fajar & Sudargana, 2007). Angka setana tar batubara tidak dapat terdeteksi oleh alat. Fisik tar batubara yang solid dan berwarna hitam menyebabkan tidak ada sinar yang bisa masuk. Hal tersebut menyebabkan angka setana dari tar batubara tidak dapat terdeteksi.

### 3.2. Nilai Rendemen Minyak Tengah Hasil Distilasi Vakum

Bahan baku tar batubara setelah dilakukan proses perengkahan katalitik menghasilkan produk mentah. Produk perengkahan berupa senyawa-senyawa dengan rantai yang bervariasi. Sehingga produk mentah hasil perengkahan katalitik tar perlu dilakukan proses distilasi (Vigouroux, 2001). Produk cair hasil proses hidro tar batubara dalam tekanan atmosfer didistilasi menjadi minyak gasolin (minyak ringan) (<180°C), minyak diesel (minyak tengah) (180-360°C), dan minyak residu (minyak berat) (>360°C) (Kan, *et al.*, 2011). Pengamatan visual bahan baku tar batubara menjadi produk mentah kemudian menjadi minyak setelah distilasi vakum dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3. Bahan baku tar batubara (a), produk mentah (b), minyak ringan (c), minyak tengah (d), minyak berat (e), dan bahan sisa (f)**



**Gambar 4. Perbandingan nilai rata-rata rendemen minyak hasil distilasi vakum dari proses perengkahan katalitik tar batubara**

Perbandingan nilai rata-rata rendemen minyak yang diperoleh dari proses distilasi vakum setelah perengkahan dapat dilihat pada Gambar 4.

Minyak diesel juga disebut sebagai minyak tengah karena didapatkan pada pertengahan proses kondensasi distilasi fraksinasi. Berdasarkan penelitian, produk yang dominan dihasilkan dalam proses distilasi yaitu minyak diesel dengan perbandingan hampir 80% (Masfuri, 2015). Penelitian tersebut sesuai dengan hasil distilasi minyak tengah dengan proses

distilasi vakum menghasilkan nilai rendemen 65,10% - 76,90%. Nilai rendemen minyak tengah dapat dilihat pada Tabel 2.

Minyak diesel hasil distilasi merupakan campuran dari hidrokarbon ringan, hidrokarbon alifatik rantai panjang, hidrokarbon kompleks seperti aromatik hidrokarbon cincin 3 dan aromatik cincin 2 yang tergabung dengan sulfur atau nitrogen (Aleme, *et al.*, 2012).

Nilai rendemen tertinggi sebesar 76,90% dihasilkan pada proses perengkahan katalitik tar pada suhu 400°C. Hal ini dikarenakan penggunaan katalis (NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dapat mengarahkan reaksi untuk mendapatkan produk yang diinginkan dengan selektivitas yang lebih tinggi dan merupakan yang paling lazim digunakan sebagai katalis perengkahan pada residu minyak (Amiruddin & Trisunaryanti, 2002) (Istadi, 2011).

**Tabel 2. Nilai rendemen minyak tengah**

Temperatur (°C)	Nilai Rendemen (%)
	Perengkahan Katalitik
300	72,70
400	76,90
500	76,80

Katalis yang bersifat asam menambahkan proton ke molekul olefin atau menarik ion hidrida dari alkana sehingga menyebabkan terbentuknya ion karbonium. Ion karbonium merupakan molekul yang sangat reaktif menyerang parafin dan naften menghasilkan karbokation baru (Masfuri, 2015). Hal ini bisa menyebabkan nilai konversi produk yang diinginkan bisa lebih tinggi.

Nilai rendemen terendah berada pada proses perengkahan yaitu pada temperatur 300°C dengan 72,70%. Pada temperatur 400°C dan 500°C memperoleh nilai rendemen yang hampir sama yaitu pada temperatur 400°C dan 500°C yaitu 76,90% dan 76,80%. Rendahnya nilai rendemen minyak tengah pada perengkahan dengan temperatur 300°C dikarenakan pada perengkahan katalitik memerlukan temperatur sekitar 400-550°C sehingga banyak hidrokarbon berat yang tidak mengalami proses perengkahan (Peng, *et al.*, 2013) (Shun, *et al.*, 2013).

### 3.3. Karakteristik Produk Minyak Tengah

Minyak tengah hasil distilasi vakum diharapkan setara dengan bahan bakar sintetis setara minyak diesel. Minyak tengah hasil perengkahan termal dan perengkahan katalitik diuji karakteristik bahan bakarnya. Sampel yang diuji karakteristik produknya terdapat 3 sampel berdasarkan perbedaan temperature 300, 400, dan 500°C. Hasil kemudian dibandingkan dengan standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis solar 48 yang dipasarkan dalam negeri dari ESDM (2020). Hasil uji dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Karakteristik bahan bakar dari minyak tengah**

Parameter	Standar Solar ESDM (2020)	Tar	Temperatur Perengkahan Katalitik (°C)		
			300	400	500
Sulfur (%)	max 0,25	0,67	0,34	0,29	0,47
Viskositas (cSt)	2,0 - 4,5	nil	3,1	2,9	2,8
Titik Tuang (°C)	maks 18	42	-31	-33	-33
Titik Nyala (°C)	min 52	nil	78,5	73	65
Nilai Kalor (cal/gram)	- 1)	9999	9438	9173	9192
Angka Setana	min 48	nil	63	61	nil

Keterangan: (-): tidak terdapat dalam standar, nil: tidak terdeteksi

Pada standar dan mutu bahan bakar solar ESDM (2020) tidak terdapat nilai kalor, akan tetapi nilai kalor menunjukkan energi kalor yang dikandung dalam setiap satuan massa bahan bakar.

### 3.4. Kadar Sulfur

Kadar sulfur dari tar batubara yaitu 0,67% (Tabel 3). Kadar sulfur tar setelah proses perengkahan dan distilasi vakum menjadi produk minyak tengah mengalami penurunan akan tetapi belum memenuhi standar berdasarkan standar dan mutu bahan bakar minyak jenis solar 48, ESDM (2020) yaitu 0,25%. Hal ini disebabkan karena pada proses perengkahan hanya terjadi pemanasan saja. Senyawa-senyawa sulfur dalam minyak diesel yang korosif dapat berupa hidrogen sulfida (Mudiraharjo, 2001). Perlu dilakukan proses desulfurisasi untuk bisa menurunkan kadar sulfur secara signifikan.

Kadar sulfur mengalami penurunan yang tidak signifikan dari 0,34% menjadi 0,29%. Kemudian kadar sulfur naik kembali pada temperatur 500°C sebesar 0,47%. Sulfur akan mengalami perubahan seiring dengan perubahan pemanasan. Kandungan sulfur pada distilat akan meningkat seiring dengan meningkatnya rentang pemanasan. Pada suhu pemanasan 250-370°C, kandungan sulfur yang akan terbawa ± 0,90% sedangkan pada 370-550°C meningkat menjadi 1,8%. Senyawa sulfur menjadi lebih tahan api dengan meningkatnya titik didih, karena kelompok senyawa dominan berubah dari tiol, sulfida, dan tiofena dalam nafta menjadi benzothiofenofen (Heinrich & Kasztelaan, 2001).

Penggunaan katalis NiMo/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> selektif terhadap desulfurisasi karena aktivitasnya sebagai katalis juga baik dalam mengadsorpsi kontaminan akan tetapi dalam proses desulfurisasi dibutuhkan gas hidrogen serta proses pemisahan H<sub>2</sub>S yang terbentuk (Pratiwi & Dwi, 2016). Hidrodesulfurisasi adalah metode yang paling umum digunakan untuk penghilangan sulfur pada minyak berat. Penggunaan gas H<sub>2</sub> dan katalis akan mengonversi komponen sulfur menjadi H<sub>2</sub>S sehingga dapat dipisahkan (Javadli & Klerk, 2012).

### 3.5. Nilai Viskositas

Minyak tengah mengalami penurunan nilai viskositas seiring naiknya temperatur perengkahan. Pada temperatur 300°C memiliki nilai viskositas yaitu 3,1cSt. Kemudian terus turun pada temperatur 400°C dengan nilai 2,9 cSt dan pada temperatur 500°C sebesar 2,8cSt. Perbandingan terbalik antara nilai viskositas dengan kondisi temperatur perengkahan menunjukkan temperatur perengkahan memiliki pengaruh terhadap penurunan nilai viskositas.

Peningkatan temperatur mengurangi kohesi molekuler sehingga viskositas fluidanya berkurang (Hardiatul & Rani, 2010). Suatu minyak bumi atau produknya mempunyai viskositas tinggi berarti minyak itu mengandung hidrokarbon berat (berat molekul besar), sebaliknya viskositas rendah maka minyak itu banyak mengandung hidrokarbon ringan. Hal ini menunjukkan proses perengkahan mempengaruhi nilai viskositas, terjadi perengkahan dari hidrokarbon berat menjadi hidrokarbon yang lebih ringan. Pada umumnya, bahan bakar harus mempunyai viskositas yang relatif rendah agar mudah mengalir dan teratomisasi. Namun tetap ada batas minimal karena diperlukan sifat pelumasan yang cukup baik untuk mencegah terjadinya keausan akibat gerakan piston yang cepat.

### 3.6. Titik Tuang

Pada Tabel 3 minyak tengah pada temperatur 300°C memiliki nilai titik tuang yaitu -31°C. Kemudian turun pada temperatur 400°C dengan nilai -33°C dan pada temperatur 500°C dengan nilai titik tuang sama sebesar -33°C.

Perubahan nilai titik tuang seiring perubahan kondisi temperatur perengkahan menunjukkan temperatur perengkahan memiliki pengaruh terhadap penurunan nilai titik tuang. Titik tuang adalah titik temperatur terendah dimana mulai terbentuk kristal-kristal paraffin panjang yang dapat menyumbat saluran bahan bakar (Shreve, 1956). Semakin rendah titik tuang maka kadar paraffin juga semakin rendah sedangkan kadar aromatnya semakin tinggi. Titik tuang ini dipengaruhi juga oleh derajat ketidakjenuhan, semakin tinggi ketidakjenuhan maka titik tuang semakin rendah, selain itu semakin panjang rantai karbon maka semakin tinggi titik tuang.

### 3.7. Titik Nyala

Nilai titik nyala minyak tengah berbanding terbalik seiring peningkatan temperatur perengkahan. Minyak tengah mengalami penurunan nilai titik nyala pada temperatur 300°C memiliki nilai titik nyala yaitu 78,5°C. Kemudian turun pada temperatur 400°C dengan nilai 73°C dan pada temperatur 500°C dengan nilai titik nyala sebesar 65°C.

Perbandingan terbalik antara nilai titik nyala minyak tengah dan temperatur perengkahan menunjukkan semakin tinggi temperatur perengkahan maka semakin rendah pula temperatur yang harus dicapai oleh minyak tengah sehingga menghasilkan uap yang dapat memberikan nyala api. Semakin tinggi temperatur pemanasan yang digunakan maka semakin rendah titik nyala yang dimiliki suatu bahan bakar (Aleme, *et al.*, 2012).

Titik nyala sangat bergantung pada banyaknya kandungan dari hidrokarbon ringan seperti n-parafin, semakin banyak kandungan hidrokarbon ringan maka semakin rendah nilai titik nyala. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi perengkahan dari hidrokarbon berat menjadi hidrokarbon ringan. Semakin tinggi temperatur perengkahan semakin banyak pula komponen mudah menguap (hidrokarbon ringan) yang dimiliki suatu produk minyak tengah untuk bisa menyala (Aleme, *et al.*, 2012).

### 3.8. Nilai Kalor

Nilai kalor minyak tengah pada perengkahan temperatur 300°C yaitu 9438 kal/gram. Kemudian turun pada temperatur 400°C dengan nilai 9173 kal/gram dan naik sedikit pada temperatur 500°C dengan nilai sebesar 9192 kal/gram. Pada perengkahan terjadi pemecahan polimer sehingga terjadi suatu proses kondensasi air dan minyak sehingga bisa menyebabkan nilai kalor menurun seiring dengan bertambahnya temperatur perengkahan (Panda, 2011).

### 3.9. Angka Setana

Angka setana pada minyak tengah mengalami penurunan. Ptemperatur 300°C memiliki angka setana yaitu 63. Kemudian turun pada temperatur 400°C dengan nilai 61.

Angka setana pada minyak tengah pada dengan perengkahan pada temperatur 500°C tidak dapat terdeteksi alat. Hal ini bisa disebabkan sampel memiliki angka setana dibatas luar rentang kemampuan alat.

Skala untuk angka setana biasanya menggunakan referensi berupa campuran antara normal setana ( $C_{16}H_{34}$ ) dengan alpha metil naphtalena ( $C_{10}H_7CH_3$ ). Normal setana memiliki angka setana 100, alpha metil naphtalena memiliki angka setana 0. Hal tersebut menunjukkan bahan bakar hidrokarbon dengan struktur atom rantai lurus mempunyai bilangan setana lebih tinggi daripada bahan bakar dengan struktur atom yang rumit. Salah satu penyebab menurunnya angka setana seiring meningkatnya temperatur perengkahan bisa disebabkan karena masih terdapat hidrokarbon dengan struktur hidrokarbon kompleks yang belum terengkah. Akan tetapi, bahan bakar diesel mengandung banyak hidrokarbon yang berbeda. Angka setana dari setiap bahan bakar diesel merupakan rata-rata semua angka setana dari berbagai hidrokarbon yang ditemukan dalam bahan bakar (Nasikin & Makhdiyanti, 2003). Tingginya angka setana tidak hanya disebabkan ada atau tidaknya rantai hidrokarbon lurus akan tetapi dari seluruh angka setana hidrokarbon yang terdapat dalam bahan bakar.

## 4. Kesimpulan

Dalam penelitian ini diketahui temperatur berpengaruh terhadap rendemen dan karakteristik produk. Besarnya temperatur yang digunakan sebanding dengan nilai rendemen minyak tengah. Setelah produk minyak tengah dikarakterisasi dan dibandingkan dengan standar dan mutu (spesifikasi) bahan bakar minyak jenis solar 48 yang dipasarkan dalam negeri dari esdm, diperoleh nilai sulfur pada ketiga temperatur belum memenuhi mutu standar esdm, sedangkan untuk nilai viskositas, titik tuang, titik nyala, dan angka setana sudah memenuhi mutu standar esdm. Perlu dilakukan karakterisasi produk secara kualitatif untuk mengetahui komposisi yaitu dengan menggunakan GC MS. Selain itu perlu dilakukan perlakuan awal terhadap katalis yang digunakan untuk mendapatkan hasil yang maksimal secara rendemen ataupun selektifitas.

## Daftar Rujukan

- A. C. Adi dan F. Lasnawatin, Handbook of Energy and Economic Statistic of Indonesia, Jakarta: Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia, 2018.
- H. Riza, G. Dwianto dan A. , Outlook Energi Indonesia 2021Perspektif Teknologi Energi Indonesia, E. Hilmawan, I. Fitriana dan A. Sugiyono, Penyunt., Jakarta: Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi, BPPT, 2021.
- D. Siswanto dan S. Mujiyanto, Indonesia Energy Outlook, S. Abdurrahman, M. Pertiwi dan W. , Penyunt., Jakarta: Secretariat General National Energy Council, 2019.
- A. N. Sasongko, L. H. Silalahi dan M. A. Oktaufik, "Tinjauan Perkembangan Teknologi Gasifikasi Batubara di Indonesia," dalam Prosiding Seminar Nasional Fundamental dan Aplikasi Teknik Kimia, Surabaya, 2011.
- E. BRIN, Gasifikasi Batubara Bawah Tanah: Teknologi Non KOnvensional Pertambangan Batubara, Jakarta: BRIN, 2022.
- M. Sofranko, E. Skvarekova dan M. Laciak, "Appraisal of the Population Threat Risk by Carbon Leakage Produced by Underground Coal Gasification," The Holistic Approach to Environment, vol. 3, no. 2, pp. 83-91, 2013.
- N. Ardhyarini, D. I. Setiawan dan S. Nardey, "Pengaruh Tekanan Reaktor pada Penghidroengkahan Tar Batubara," Jurnal Kimia Terapan Indonesia, vol. 15, no. 2, pp. 65-73, 2013.

- A. Salim, B. Wicaksono dan H. Waskito, *Kamus Minyak dan Gas Bumi*, Jakarta: Lemigas, 2009.
- A. K. Panda, "Studies on Process Optimization for Production of Liquid Fuels from Waste Plastics," National Institut of Technology Rourkela, Rourkela, 2011.
- D. Li, L. Zhen, Q. Liu, Z. Feng dan Z. Fan, "Hydrotreating of Low Temperature Coal Tar Produce Clean Liquid Fuels," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 100, pp. 245-252, March 2013.
- I. Masfuri dan M. Hanif, "KONversi Tar Batubara ke Bahan Bakar Cair Strategi Inovatif untuk Energi dan Lingkungan," *Jurnal Energi dan Lingkungan*, vol. 10, no. 2, pp. 113-120, 2014.
- M. M. Peng, A. Abidov, M. Palanichamy dan S. G. Lee, "Selective Ccracking of Durene to Para-Dimethyl Benzene over ZSM-5 Zeolite," *International JOurnal of Control and Automation*, vol. 6, no. 5, pp. 181-190, October 2013.
- Y. Shun, Z. Zhijun, S. Jianping dan W. Qingwen, "Recent Progress of Catalytic Pyrolysis of Biomass by ZSM-5," *Chinese Journal of Catalyst*, vol. 34, pp. 641-650, 2013.
- A. Pramesti, D. Fitriyanto dan A. Roesyadi, "Pembuatan Biofuel dari Minyak Kelapa Sawit melalui Proses Hydrocracking dengan Katalis Ni-Mg/ $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>," *Jurnal Teknik Pomits*, vol. 3, no. 2, pp. 2301-9271, 2014.
- B. Dou, J. Gao dan S. W. Baek, "Catalytic Cracking," *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, pp. 2229-2239, 2003.
- Amiruddin dan Trisunaryanti, "Preparasi dan Karakterisasi Katalis Logam Ni, Mo, Cr, dan Modifikasinya menggunakan Pengemban alumina untuk Hidrorrengkah Fraksi Aspalten dari Aspal Buton," Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2002.
- Y. Syamsuddin, B. Hameed, R. Zakaria dan A. R. Mohamed, "Thermal dan Catalytic Cracking of Petroleum Residu Oil," *Engineering Journal*, vol. 18, pp. 1-8, 2005.
- ESDM, *Standar dan Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar*, Jakarta, 2020.
- G. Heinrich dan S. Kasztelaan, "Hydrotreating. Petroleum Refining. Conversion Process," Editions Technip, vol. 3, pp. 533-573, 2001.
- B. Setiadji, I. Tahir dan D. Retno, *Pemisahan Komponen Tar Batubara dengan Kolom Fraksinasi menggunakan Fasa Diam Zeolit-Mn*, Berkala MIPA, 2005.
- B. Fajar dan Sudargana, "Pengukuran Viskositas dan Nilai Kalor Bio-Diesel Minyak Bawang dengan Variasi Temperatur dan Kadar Minyak Bawang," *Rotasi*, vol. 9, no. 3, 2007.
- R. Z. Vigouroux, "Pyrolysis of Biomass," Royal Institute of Technology, Stockholm, 2001.
- T. Kan, H. Wang, H. He, C. Li dan S. Zhang, "Experimental Study on Two Stage Catalytic Hydroprocessing of Middle-temperatyre Coal Tar to Clean Liquid Fuels," *Fuel*, vol. 90, pp. 3404-3409, 2011.
- I. Masfuri, "Laporan Akhir Tahun Tar Upgrading," BPPT, Jakarta, 2015.
- Aleme, G. Helga, J. S. Paulo dan Barbeira, "Determination of Flash Point and Cetane Index Using Distillation Curves and Multivariate Calibration," *Fuel*, vol. 102, pp. 129-134, 2012.
- Istadi, *Teknologi Katalis untuk Konversi energi*, Fundamental dan Aplikasi, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.
- M. Mudjiraharjo, *Produk Migas III, Cepu: Akademi Minyak dan Gas Bumi*, 2001.
- N. Pratiwi dan K. Dwi, "Kajian Potensi CoMo/USY sebagai katalis Desulfurisasi," dalam *Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia VIII. FKIP UNS*, 2016.
- Javadli, Rashad dan A. D. Klerk, "Desulfurization of Heavy Oil," *Petrochem*, vol. 1, pp. 3-19, 2012.
- M. Hardiatul dan E. Rani, "Analisis Karakteristik Pengaruh Suhu dan Kontaminan terhadap Viskositas Oli menggunakan Rotary Viscometer," *Jurnal Neutro*, vol. 3, no. 1, 2010.
- R. N. Shreve, *The chemical process industries*, New York, Toronto, London: Mc Graw Hill Book ZOmpany, INC, 1956.
- M. Nasikin dan A. Makhdiyanti, "Sintetis Metil Ester sebagai Aditif Bahan Bakar Solar dari Minyak Sawit," *Jurnal Teknologi*, vol. 1, pp. 45-50, 2003.