

Perengkahan Residu Minyak Bumi PPSDM Migas dengan Metode *Aquathermolysis*

Yoeswono, Dwi Purwanto, Desy Kurnia Puspaningrum

Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi, Blora.

INFORMASI NASKAH

Diterima : 17 Juni 2022
Direvisi : 1 Agustus 2022
Disetujui : 4 Agustus 2022
Terbit : 4 Agustus 2022

Email korespondensi:
yoeswono@esdm.go.id

Laman daring:
[https://doi.org/10.37525/
mz/2022-1/366](https://doi.org/10.37525/mz/2022-1/366)

ABSTRAK

Telah dilakukan perengkahan residu minyak bumi PPSDM Migas melalui reaksi *The aquathermolysis reaction is carried out in a stainless steel reactor batch system with and without a catalyst at a temperature of 230 °C and aquathermolysis* dengan katalis NiO/Fe₃O₄ untuk penurunan viskositas residu tersebut. Katalis NiO/Fe₃O₄ disintesis dengan metode kopresipitasi dan dikarakterisasi menggunakan XRD untuk diperoleh informasi mengenai kristalinitasnya. Reaksi *aquathermolysis* dilakukan dalam suatu reaktor stainless steel sistem batch dengan dan tanpa katalis pada temperatur 230 °C dan tekanan 40 psi dalam atmosfer nitrogen. Pada penelitian ini dikaji pengaruh rasio berat minyak terhadap air, rasio berat katalis terhadap reaktan, pengaruh waktu reaksi terhadap viskositas produk reaksi. Jenis dan komposisi senyawa residu dan produk reaksi dianalisis GC-MS.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa katalis yang diperoleh adalah kristal *trevorite* Fe_{1,7}Ni_{1,43}O₄ dan telah menunjukkan aktivitas katalitik dalam reaksi *aquathermolysis* Residu PPSDM Migas. Reaksi *aquathermolysis* terhadap residu tanpa katalis telah meningkatkan kadar alifatik dan menurunkan kadar aromatik dalam residu sedangkan reaksi dengan katalis menurunkan kadar hidrokarbon alifatik dan aromatic. Kedua reaksi tersebut meningkatkan kadar senyawa heteroorganik. Semakin besar rasio berat katalis terhadap reaktan, semakin rendah viskositas produk reaksi yang dihasilkan. Bila dibandingkan dengan residu awal maka penurunan viskositas produk reaksi tanpa katalis, katalis/reaktan = 0,002; dan katalis/reaktan = 0,01 berturut-turut 3,00%, 3,33%, dan 6,00%. Semakin besar rasio berat residu : akuades, semakin rendah viskositas produk reaksi yang dihasilkan. Bila dibandingkan dengan residu awal maka penurunan viskositas produk reaksi rasio berat katalis : akuades = 2,33 dan 0,43 berturut-turut 6,00% dan 19,76%. Waktu reaksi tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan viskositas produk reaksi pada kondisi percobaan. Hal tersebut dimungkinkan karena aktivitas katalis menurun seiring dengan penambahan waktu reaksi.

Kata Kunci : Residu, Perengkahan, kopresipitasi, *Aquathermolysis*

ABSTRACT

The cracking of the petroleum residue from PPSDM Migas has been carried out through an aquathermolysis reaction with a NiO/Fe₃O₄ catalyst to reduce the viscosity of the residue. NiO/Fe₃O₄ catalysts were synthesized by the coprecipitation method and characterized using XRD to obtain information regarding their crystallinity. The aquathermolysis reaction was carried out in a stainless steel reactor batch system with and without a catalyst at a temperature of 230 °C and a pressure of 40 psi in a nitrogen atmosphere. In this study, the effect of the ratio of oil weight to water, the ratio of catalyst weight to reactants, the effect of reaction time on the viscosity of the reaction product were studied. The type and composition of the residue and reaction products were analyzed by GC-MS.

The results showed that the catalyst was trevorite crystal Fe_{1,7}Ni_{1,43}O₄ and has shown having catalytic activity in the aquathermolysis reaction of PPSDM Migas residue. The aquathermolysis reaction to the uncatalyzed residue increased the aliphatic content and decreased the aromatic content in the residue, while the reaction with the catalyst decreased the aliphatic and aromatic hydrocarbon content. Both reactions increased the levels of heteroorganic compounds. The viscosity of the reaction products decreased as the ratio of the catalyst to the reactants increased. When compared with the initial residue, the decreased in the viscosity of the reaction product without catalyst, catalyst/reactant = 0.002; and catalyst/reactant = 0.01 were 3.00%, 3.33%, and 6.00%, respectively. The greater the weight ratio of residue to distilled water, the viscosity of the reaction products getting lower. When compared to the initial residue, the decreased in the viscosity of the reaction product by the weight ratio of the catalyst: aquadest = 2.33 and 0.43 were 6.00% and 19.76%, respectively. Reaction time had no significant effect on decreasing the viscosity of reaction products under experimental conditions. This might be because the activity of the catalyst decreased with the addition of reaction time.

Keywords: Residue, Cracking, Coprecipitation, Aquathermolysis

PENDAHULUAN

Sampai dengan saat ini, sumber energi dunia masih didominasi oleh minyak bumi. *British Petroleum* (BP) melaporkan 32,6% sumber energi dunia berasal dari minyak bumi, diikuti oleh batu bara (30,7%), gas alam (23,7%), dan sumber energi lainnya (13,7%) yang terdistribusi atas: nuklir, pembangkit listrik tenaga air, dan sumber energi terbarukan (BP, 2015). *Organization of the Petroleum Exporting Countries* (OPEC) melaporkan bahwa sektor transportasi darat merupakan pengguna energi minyak bumi terbesar yaitu 44% dari seluruh kebutuhan energi minyak bumi dunia yang diikuti sektor industri dan petrokimia 25%, dan sisanya terdistribusi atas sektor penerbangan, perkapalan, rumah tangga, listrik, pertanian / perkebunan, dan sektor komersial lainnya sebesar 31% (OPEC, 2015). Sekitar 29,7% dari kebutuhan energi seluruh sektor tersebut menggunakan bahan bakar minyak solar,

25,6% menggunakan bensin, dan 44,7% sisanya menggunakan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG), nafta, *kerosene*, dan minyak bakar (OPEC, 2015).

Minyak bakar merupakan bahan bakar yang banyak dipakai sebagai bahan bakar *furnace*, boiler, dan mesin kapal. Minyak bakar harus memiliki karakteristik tertentu sesuai batasan spesifikasi mutunya untuk dapat memberikan kinerja optimum. Beberapa karakteristik penting dari minyak bakar antara lain densitas, titik nyala, titik tuang, kadar air, kadar sulfur, dan viskositas.

Viskositas adalah besaran daya hambatan/tahanan geser yang dilakukan oleh cairan tersebut untuk mengalir pada temperatur tertentu. Viskositas dibatasi agar minyak bakar dapat memberikan unjuk kerja yang baik terkait dengan atomisasi dan kestabilan laju alir bahan bakar saat dipompakan melalui *nozzle* menuju ruang bakar. Viskositas tinggi mengakibatkan atomisasi buruk, butiran-butiran besar, dan penetrasi *spray* tinggi. Viskositas

tinggi akan menghasilkan aliran semburan, bukan *spray* butiran-butiran kecil, sehingga bahan bakar tidak terdistribusi merata dalam atau bercampur dengan udara yang diperlukan dalam pembakaran. Hal ini akan menghasilkan pembakaran yang buruk, sehingga tenaga hilang dan boros. Pada mesin ukuran kecil, *spray* bahan bakar akan membentur dinding silinder, melarutkan lapisan pelumas dan menyebabkan pengenceran pelumas mesin, yang selanjutnya berakibat pada keausan mesin berlebihan. Batasan maksimum viskositas juga terkait dengan beban pompa saat bahan bakar dipompakan dari tanki timbun ke sistem pemanasan awal.

Minyak bakar yang diperoleh dari residu pengolahan *crude oil* (minyak bumi) dominan mengandung hidrokarbon molekul tinggi, seperti resin dan aspaltena (senyawa kompleks nonpolar dan nonvolatil dengan berat molekul tinggi yang terdapat minyak bumi yang mengandung karbon, hydrogen, oksigen, dan sulfur). Komposisi komponen penyusun residu tersebut menjadikan residu memiliki viskositas, titik didih dan massa molekul yang tinggi (Head *et al.*, 2003), yang menyebabkan beberapa kesulitan dalam penanganan saat distribusi dan penyimpanan (Selby, R. *et al.*, 1989). Diperlukan penanganan tertentu agar residu dapat memberikan kinerja sesuai yang diharapkan, antara lain penurunan viskositas. Teknik pemanasan residu, penambahan aditif penurun viskositas, dan perengkahan merupakan beberapa contoh teknik penurunan viskositas residu yang telah diaplikasikan secara komersial.

Visbreaking merupakan salah satu contoh proses perengkahan dengan metode termal untuk menurunkan viskositas residu. Penurunan viskositas produk diperoleh dengan terbentuknya molekul-molekul hasil perengkahan yang lebih kecil. Namun demikian dalam *visbreaking*, densitas tidak banyak berubah dan rasio hidrogen terhadap karbon (H/C) untuk fraksi minyak cair akan sedikit turun karena terbentuknya gas yang kaya hidrogen sedangkan jumlah karbon tidak banyak berubah. Sehingga, bila yang dikehendaki adalah peningkatan densitas dan rasio H/C maka

visbreaking bukan merupakan pilihan yang baik (Ramirez-Corredores, 2017). Beberapa metode perengkahan residu lainnya yang telah banyak dikaji, antara lain menggunakan metode *cold cracking* (Li *et al.*, 2007), perengkahan terkatalisis (Vermeiren & Gilson, 2009), perengkahan superkritis (Dejhosseini *et al.*, 2013), dan *aquathermolysis cracking* (Fan, H., *et al.*, 2004).

Aquathermolysis adalah salah satu metode perengkahan yang belakangan menjadi fokus penelitian karena keuntungannya yaitu suhu yang digunakan relatif lebih rendah dari perengkahan terkatalisis sehingga lebih hemat energi. Hyne *et al.* dalam Fan *et al.* (2004) melaporkan bahwa logam dapat mempercepat reaksi *aquathermolysis*.

Reaksi *aquathermolysis* pada umumnya digunakan untuk tujuan meningkatkan perolehan *crude oil* (minyak bumi) dari sumur minyak bumi. Pada reaksi *aquathermolysis*, bila hidrokarbon minyak bumi dikenakan panas dari *steam/superheated water*, maka molekul-molekul aspaltena akan pecah menjadi molekul-molekul yang lebih kecil, sehingga viskositas turun dan dengan demikian sifat alir minyak bumi tersebut akan menjadi lebih baik. Selain itu, panas akan menimbulkan tekanan dan mengencerkan minyak bumi sehingga minyak tersebut dapat mengalir lebih mudah, sehingga dapat meningkatkan produksi minyak bumi (Maity *et al.*, 2010). Penggunaan katalis dalam reaksi *aquathermolysis* ini akan lebih menurunkan viskositas minyak bumi. Pada dasarnya terdapat empat tipe katalis *aquathermolysis*, yang aktivitas terhadap penurunan katalis berturut-turut: mineral < katalis larut air < katalis larut minyak < katalis terdispersi. Peningkatan kadar hidrokarbon jenuh dan aromatik yang diikuti dengan penurunan kadar resin dan aspaltena terjadi dalam reaksi *aquathermolysis* (Maity *et al.*, 2010).

Suwaed *et al.* (2020) telah mengkaji aktivitas logam transisi larut minyak (Fe, Ni, Co) dalam reaksi *aquathermolysis* terhadap minyak bumi. Dilaporkan bahwa injeksi *steam* pada temperatur 300 °C dapat mengaktifasi logam-logam tersebut dalam reaksi *aquathermolysis* yang ditunjukkan dengan penurunan viskositas, peningkatan kadar

hidrokarbon jenuh khususnya alkana ringan, penurunan kadar resin dan aspaltena, penurunan sulfur dan nitrogen, penurunan kadar poliaromatik, dan lainnya dengan menghambat reaksi kondensasi dan rekombinasi dan meningkatkan reaksi dekomposisi termal terhadap komponen-komponen molekul tinggi (resin, aspaltena, aromatik polisiklis, alkana rantai panjang), dan hidrogenasi. Katalis Ni menunjukkan aktivitas yang lebih baik dibanding katalis Fe, dan Co.

Wang *et al.* (2010) telah mengkaji aktivitas dua katalis yang mengandung ion Fe^{3+} and Mo^{6+} pada reaksi *aquathermolysis* terhadap minyak bumi. Melalui pengamatan *thin-layer chromatography-flame ionization detection* (TLC-FID), analisis elemental, ^1H NMR, dan GC-MS dinyatakan bahwa dengan menggunakan dua ion katalis tersebut terdapat tujuh peristiwa yang teramati selama reaksi berlangsung, yaitu: pirolisis, depolimerisasi, hidrogenasi, isomerisasi, pembukaan cincin, oksigenasi-alkoholisasi-esterifikasi, dan rekonstruksi. Katalis yang mengandung ion Fe^{3+} lebih banyak bereaksi terhadap resin, hidrokarbon jenuh, dan senyawa yang mengandung gugus oksigen, sedangkan katalis yang mengandung ion Mo^{6+} lebih banyak bereaksi terhadap aspaltena, hidrokarbon aromatik, dan senyawa yang mengandung gugus sulfur. Chen *et al.* (2010) yang telah mengkaji aktivitas katalis aromatik sulfonat $\text{H}_3\text{PMo}_{12}\text{O}_{40}$ pada reaksi *aquathermolysis* lebih jauh menyatakan bahwa penurunan viskositas tidak hanya karena putusannya ikatan C-C tetapi juga antara C-O.

Fan *et al.* (2004) mengkaji aktivitas mineral (mineral *clay* dan non-mineral *clay*) dalam reservoir minyak bumi sebagai katalis *aquathermolysis* dengan stimulasi *steam*. Hasil kajian menunjukkan stimulasi *steam* dapat mengaktivasi mineral dalam reservoir dan dapat mengkatalisasi reaksi *aquathermolysis* yang ditunjukkan oleh menurunnya viskositas dan berat molekul minyak bumi.

Vakhin *et al.* (2021) melaporkan kajian reaksi *aquathermolysis* terhadap minyak bumi dengan menggunakan katalis larut minyak Nikel-Sulfida. Dilaporkan bahwa katalis tersebut dapat menurunkan kadar resin dan aspaltena, meningkatkan kadar hidrokarbon jenuh. Katalis Nikel-Sulfida juga memiliki aktivitas menurunkan

kadar sulfur dalam minyak bumi yang ekstra berat pada temperatur reaksi 300 °C. Pemutusan ikatan C-S yang lemah, terutama pada resin dan aspaltena, reaksi pembukaan cincin, pemutusan gugus alkil dari aspaltena dan pencegahan reaksi polimerisasi dengan adanya katalis kompleks tersebut menyebabkan terjadinya penurunan berat molekul resin dan aspaltena.

Telah banyak dilaporkan kajian reaksi *aquathermolysis* untuk tujuan peningkatan perolehan minyak bumi melalui penurunan viskositas, sedangkan reaksi *aquathermolysis* untuk penurunan viskositas minyak residu masih belum banyak dikaji. Sementara itu, kajian yang dilakukan oleh Suwaid *et al.* (2020), Wang *et al.* (2010) Vakhin *et al.* (2021) menunjukkan bahwa katalis berbasis logam Fe dan Ni memiliki aktivitas katalisis dalam reaksi *aquathermolysis*. Berdasarkan data tersebut, maka kajian reaksi *aquathermolysis* terhadap residu produksi kilang PPSDM Migas diharapkan dapat menambah khasanah ilmu pengetahuan dan bermanfaat untuk peningkatan nilai tambah residu tersebut.

B. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji aktivitas katalis $\text{Fe}_{1,7}\text{Ni}_{1,43}\text{O}_4$ dalam reaksi *Aquathermolysis* terhadap Residu produk kilang PPSDM Migas melalui pengamatan viskositas produk reaksi.

C. Manfaat

Manfaat bagi tim pelaksana / peneliti adalah; (1) mendapatkan data primer mengenai perengkahan residu minyak bumi dengan metode *aquathermolysis*, (2) mendapatkan ilmu dan pengalaman lapangan terkait proses perengkahan *aquathermolysis*, sifat fisika dan kimia residu minyak bumi, perubahan sifat fisika dan kimia residu minyak bumi hasil perengkahan *aquathermolysis*

METODE PENELITIAN

A. Bahan-Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi : (1) Besi(III) klorida ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) menggunakan produk Merck, (2) Nikel(II) klorida ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) menggunakan produk Merck, (3) Natrium hidroksida (NaOH) menggunakan produk Merck, (4) Asam klorida (HCl) 37% menggunakan

produk Merck, Gas Nitrogen diperoleh dari PT. Samator, dan (5) Residu diperoleh dari Kilang PPSDM Migas.

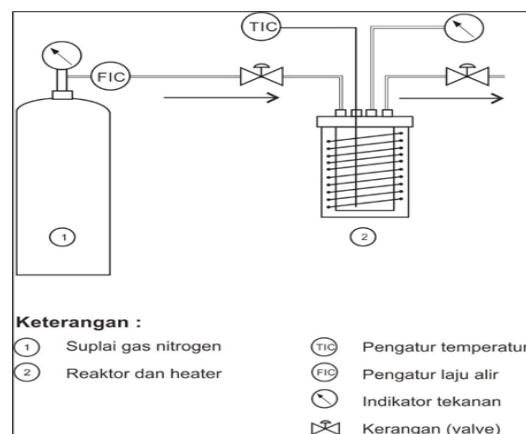
B. Alat-Alat Penelitian

Beberapa peralatan digunakan pada saat penelitian, yang meliputi peralatan karakterisasi baik katalis, umpan, ataupun produk reaksi dan peralatan percobaan. Kristalinitas katalis dianalisis menggunakan alat X-Ray Diffraction (XRD) Rigaku Miniflex 600 Benchtop di Laboratorium Kimia FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta (UNY)-Yogyakarta. Analisis terhadap contoh katalis dilakukan menggunakan tabung X-Ray dengan target Cu, tegangan 40,0 kV, dan arus listrik 30,0 mA. *Divergence, scatter, dan receiving slit* berturut-turut 1°, 1°, dan 0,3 mm. Pemindaian dilakukan secara kontinu dalam rentang 2θ = 3,000–80,000 dengan laju pemindaian 5° / menit, sampling pitch 0,02°, dan preset time 0,24 detik.

Jenis dan komposisi dalam senyawa residu dan produk reaksi dianalisis menggunakan Kromatografi Gas-Spektrometri Massa (Gas Chromatography–Mass Spectrometry = GC-MS) Shimadzu QP2010S di Laboratorium Kimia Organik FMIPA Universitas Gadjah Mada. Kolom yang digunakan adalah AGILENT HP5MS (95% dimetil-5% difenil polisiloksana) dengan panjang 30 m, i.d. 0,25 mm, ketebalan film 0,25 µm. Gas pembawa yang digunakan adalah helium. Jenis pengionan yang digunakan adalah Electron Impact (EI) dengan tegangan 70 eV. Temperatur oven 40 °C, temperatur injeksi 300 °C dengan moda injeksi split, tekanan 12,0 kPa, laju alir total 31,2 mL/menit, laju alir dalam kolom 0,56 mL/menit, linear velocity 27,1 mL/menit, dan rasio split 49,0. Peningkatan temperatur oven terprogram yaitu 40 °C ditahan selama 5 menit kemudian temperatur dinaikkan dengan laju 5 °C/menit sampai dengan 300 °C ditahan 3 menit. Pengamatan reaksi dilakukan dengan analisis viskositas kinematic terhadap umpan maupun produk reaksi menggunakan Viscosity Analyzer Stanhope Zeta dengan prosedur mengacu metode ASTM D445. Beberapa peralatan percobaan utama yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: *Batch Reaktor, Furnace, Centrifuge, dan Heater*.

Reaktor *aquathermolysis* didesain sedemikian hingga dapat mengakomodir tekanan dan

temperatur yang dioperasikan. Bejana reaktor terbuat dari *stainless steel* dengan dimensi bagian dalam: w = 6 cm dan t = 12 cm. Bejana dilengkapi dengan indikator temperatur menggunakan *thermostat* dengan posisi *probe* sedemikian hingga terendam dalam reaktan. Pressure gauge dengan rentang 0-1000 psi dipasang pada bejana untuk mengamati tekanan perubahan tekanan selama percobaan. Bejana juga dilengkapi dengan saluran masuk dan keluar gas yang masing-masing terdapat kerangan. Saluran masuk digunakan untuk melakukan pembilasan atmosfer bejana menggunakan gas nitrogen, sedangkan saluran keluar untuk mengatur tekanan awal dan untuk mengeluarkan sisa-sisa gas. Bejana ditempatkan dalam *heater* yang dilengkapi dengan pengatur temperatur. Desain reaktor seperti tampak pada Gambar 6



Gambar 6. Desain reaktor *aquathermolysis*

A. Prosedur Kerja

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Kilang PPSDM Migas Cepu. Beberapa kegiatan yang dilakukan pada penelitian ini pada dasarnya dapat dikelompokkan sebagai berikut.

- Karakterisasi residu minyak bumi;
- Sintesis katalis dalam perengkahan *aquathermolysis*; dan
- Perengkahan residu minyak bumi dengan metode *aquathermolysis*.

1) *Karakterisasi Residu Minyak Bumi*

Karakterisasi residu minyak bumi meliputi karakterisasi dengan menggunakan instrumentasi kimia dan instrumentasi fisika. Data yang diharapkan untuk diperoleh antara lain komposisi

senyawa residu minyak bumi menggunakan GC-MS dan viskositas.

2) Sintesis Senyawa Aktif dan Nanomaterial Aktif Potensial Perengkahan Residu Minyak Bumi

Tahap penelitian ini bertujuan untuk melakukan sintesis katalis NiO/Fe₃O₄ dengan metode kopresipitasi. Metode ini digunakan karena hendak disintesis katalis gabungan Fe dan Ni dalam bentuk oksidanya. Keuntungan penggunaan metode kopresipitasi, antara lain: yield tinggi, kemurnian tinggi, dan biaya rendah. Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- Pembuatan larutan NiCl₂ FeCl₂ asam dengan menggunakan garam FeCl₃·6H₂O dan NiCl₂·6H₂O dengan rasio mol NiCl₂: FeCl₂ = 0,5 yang dilarutkan dalam HCl.
- Presipitasi Ni²⁺ Fe³⁺. Larutan garam NiCl₂ FeCl₂ asam dititrasi menggunakan NaOH sampai diperoleh pH larutan 6-8, larutan dibiarkan 24 jam. Campuran selanjutnya dicuci dengan akuades dan disaring 10x.
- Aktivasi Ni²⁺ Fe³⁺. Campuran diuapkan pada 80 °C dan dikeringkan pada 120 °C dalam oven masing-masing selama 24 jam. Material yang dihasilkan kemudian diaktivasi dalam furnace melalui proses kalsinasi pada 400 °C selama 4 jam dalam lingkungan N₂.
- Karakterisasi Katalis. Katalis hasil kalsinasi dikarakterisasi menggunakan XRD untuk diperoleh informasi mengenai kristalinitas katalis. Senyawa yang telah dapat kemudian digunakan sebagai katalis *aquathermolysis*.

3) Perengkahan Residu Minyak Bumi dengan Metode Aquathermolysis

Reaksi *aquathermolysis* dilakukan dengan menimbang sejumlah tertentu residu dan akuades pada rasio berat tertentu dan dimasukkan ke dalam bejana reaktor dan ditutup rapat. Bejana dibilas dengan nitrogen dan kemudian diisi dengan gas nitrogen sampai pada tekanan 40 psi dan temperatur ambien. Bejana yang berisi reaktan dan gas nitrogen dipanaskan. Reaksi dibiarkan

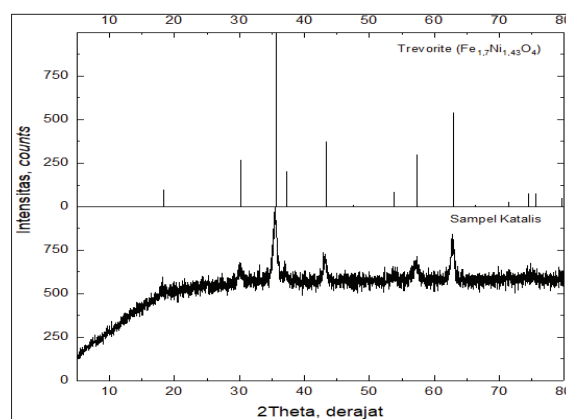
berlangsung selama 1 jam pada temperatur mencapai 230 C dan selanjutnya dibiarkan dingin sampai pada temperatur ambien dalam keadaan tertutup. Sisa air dalam bejana dipisahkan dan produk reaksi dituang ke dalam tabung centrifuge dengan bantuan sedikit pemanasan. Dilakukan centrifuging untuk memisahkan air dan sisa katalis yang masih terjebak dalam produk reaksi. Fasa minyak dalam tabung *centrifuge* diambil untuk selanjutnya dilakukan analisis komponen senyawa dan viskositas produk reaksi. Peralatan dibersihkan dan dikeringkan untuk percobaan selanjutnya.

Percobaan dilakukan dengan dan tanpa katalis. Pada penelitian ini juga dikaji pengaruh rasio berat minyak terhadap air (0,43 dan 2,33), rasio berat katalis terhadap reaktan (0,002 dan 0,01), pengaruh waktu reaksi (1 dan 3 jam) terhadap viskositas produk reaksi. Dilakukan karakterisasi residu awal sebagai data pembandingan terhadap data produk reaksi.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

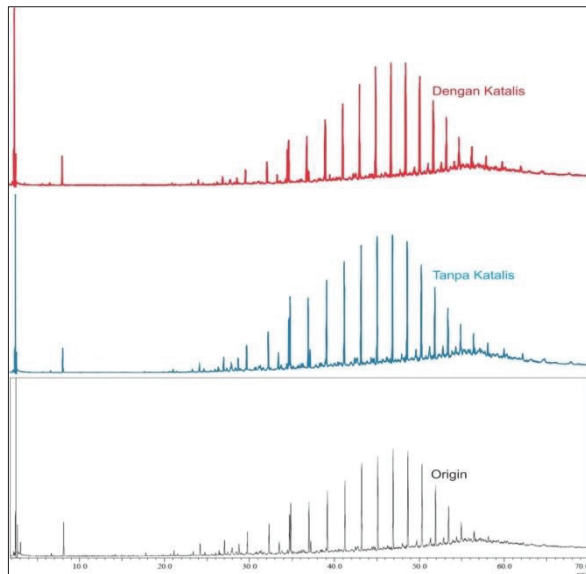
A. Karakterisasi Katalis

Hasil analisis menggunakan XRD pada Gambar 7 menunjukkan bahwa katalis menunjukkan puncak-puncak difraksi pada 2-theta: 18,41°, 30,3°, 35,7°, 37,3°, 43,4°, 57,4°, dan 63,0° yang bersesuaian dengan difraksi standar kristal *trevorite* (Fe_{1,7}Ni_{1,43}O₄) mengacu pada COD: 1006116.



Gambar 7. Puncak-puncak difraksi katalis dianalisis menggunakan XRD

B. Karakterisasi Jenis dan Distribusi Senyawa dalam Residu



Gambar 8. Distribusi senyawa dalam residu dan produk *aquathermolysis*

Pada Gambar 8 disajikan mengenai distribusi komponen dalam residu sebelum (*origin*), *aquathermolysis* tanpa katalis, dan *aquathermolysis* dengan katalis dianalisis dengan menggunakan GC-MS. Distribusi komponen hidrokarbon dalam residu memiliki jumlah karbon dalam rentang C12-C50. Evaluasi data GC-MS tersebut memberikan data seperti pada Tabel 1. Tampak pada Tabel 1, tipe hidrokarbon yang paling dominan dalam residu adalah alifatik atau umum disebut parafinik, sehingga logis bila residu yang dihasilkan dari Kilang PPSDM Migas mudah beku pada temperatur kamar. Tipe hidrokarbon parafinik memberikan luas permukaan kontak antar molekul yang lebih luas dibandingkan dengan tipe hidrokarbon lainnya, melalui gaya van der Waals, sehingga mudah mengalami penataan dalam ruang yang selanjutnya mudah beku pada proses pendinginan. Pada Tabel 1 tampak bahwa perlakuan terhadap residu tanpa katalis meningkatkan kadar alifatik dan aromatik dalam residu sedangkan reaksi dengan katalis menurunkan kadar hidrokarbon alifatik dan aromatic. Kedua reaksi tersebut meningkatkan kadar senyawa heteroorganik. Bila diasumsikan tidak terjadi penguapan (*loss*) selama proses reaksi *aquathermolysis* (terutama fraksi-fraksi ringan),

maka dimungkinkan beberapa hidrokarbon (alifatik dan parafinik) terkonversi menjadi senyawa lain yang terikat dengan heteroatom (senyawa hetero-organik).

Tabel 1. Distribusi Tipe Hidrokarbon dan Komponen Lainnya dalam Residu

Struktur	Konsentrasi, %		
	Origin	Tanpa katalis	Dengan katalis
Alifatik	96,75	97,68	90,32
Olefinik	0,00	0,00	0,00
Aromatik	1,80	0,00	0,00
Hetero-organik	1,45	2,32	9,68

Pada Tabel 1 disajikan distribusi senyawa hetero-organik dalam residu. Tampak bahwa kadar organo-oksigen meningkat berturut turut dari residu *origin*, tanpa katalis, dan dengan katalis. Peningkatan kadar hetero-oksigen tersebut menunjukkan bahwa air yang digunakan dalam reaksi *aquathermolysis* ini telah bereaksi dengan residu dan terikat dengan senyawa organik. Tabel 2 menunjukkan bahwa peningkatan kadar hetero-klorida dan hetero-iodida dimungkinkan karena kadar klor dan iodide yang mungkin terdapat dalam air. Keberadaan organo-bromida dalam residu awal dan kemudian tidak terdeteksi dalam residu pada reaksi tanpa katalis dan dengan katalis belum dapat dijelaskan dengan baik. Dimungkinkan Br yang terikat pada senyawa organik tersebut lepas akibat temperatur reaksi yang cukup tinggi dan kemudian membentuk gas Br₂ sehingga tidak terdeteksi oleh GC-MS.

Tabel 2. Distribusi Senyawa Hetero-Organik dalam Residu

Tipe senyawa hetero-organik	Konsentrasi, %		
	Origin	Tanpa katalis	Dengan katalis
Organo-oksigen	0,62	1,26	3,32
Organo-klorida	0,84	0,00	5,45
Organo-iodida	0,00	1,06	0,91
Organo-Bromida	0,61	0,00	0,00
Total	2,06	2,32	9,68

A. Pengaruh Rasio Berat Katalis terhadap Reaktan

Rasio berat katalis berpengaruh terhadap viskositas produk reaksi. Semakin besar rasio berat katalis terhadap reaktan, semakin rendah viskositas produk reaksi yang dihasilkan. Tabel 3 menunjukkan bahwa viskositas Kinematik pada 50 °C produk reaksi pada percobaan dengan rasio berat katalis terhadap reaktan sebesar 0,01 adalah 75,415 mm²/s atau turun sebesar 6,00% dibandingkan dengan viskositas residu awal. Bila dibandingkan dengan residu awal maka penurunan viskositas produk reaksi tanpa katalis, katalis/reaktan = 0,002; dan katalis/reaktan = 0,01 berturut-turut 3,00%, 3,33%, dan 6,00%.

Tabel 3. Pengaruh Rasio Berat Katalis : Reaktan terhadap Viskositas Kinematik Produk Reaksi *Aquathermolysis* Residu PPSDM Migas ($T = 230\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{awal}} = 40\text{ psi}$)

No.	Rasio berat residu terhadap akuades	Rasio berat katalis terhadap reaktan	Waktu Reaksi, jam	Viskositas Kinematik pada 50°C, mm ² /s
1	Residu awal (tanpa air)	-	-	80,23
2	2,33	-	1	77,82
3	2,33	0,002	1	77,56
4	2,33	0,01	1	75,42

B. Pengaruh Rasio Berat Residu terhadap Air

Pada Tabel 4 tampak bahwa Rasio berat residu : akuades berpengaruh terhadap viskositas produk reaksi. Semakin besar rasio berat residu : akuades, semakin rendah viskositas produk reaksi yang dihasilkan. Viskositas Kinematik pada 50 C produk reaksi pada percobaan dengan rasio residu : akuades sebesar 0,43 adalah 64,38 mm²/s atau turun sebesar 19,76% dibandingkan dengan viskositas residu awal. Bila dibandingkan dengan residu awal maka penurunan viskositas produk reaksi rasio berat katalis : akuades = 2,33 dan 0,43 berturut-turut 6,00% dan 19,76%.

Tabel 4. Pengaruh Rasio Berat Residu : Akuades terhadap Viskositas Kinematik Produk Reaksi *Aquathermolysis* Residu PPSDM Migas ($T = 230\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{awal}} = 40\text{ psi}$)

No.	Rasio berat residu terhadap akuades	Rasio berat katalis terhadap reaktan	Waktu Reaksi, jam	Viskositas Kinematik pada 50°C, mm ² /s
1	Residu awal (tanpa air)	-	-	80,23
2	2,33	0,01	1	75,42
3	0,43	0,01	1	64,38

C. Pengaruh Waktu Reaksi

Tabel 5 menunjukkan bahwa viskositas Kinematik produk pada waktu reaksi 3 jam relatif sama dibanding pada waktu reaksi 1 jam. Hal tersebut dimungkinkan karena aktivitas katalis menurun seiring dengan penambahan waktu reaksi.

Tabel 5. Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Viskositas Kinematik Produk Reaksi *Aquathermolysis* Residu PPSDM Migas ($T = 230\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{awal}} = 40\text{ psi}$)

No.	Rasio berat residu terhadap akuades	Rasio berat katalis terhadap reaktan	Waktu Reaksi, jam	Viskositas Kinematik pada 50°C, mm ² /s
1	Residu awal (tanpa air)	-	-	80,23
2	2,33	0,002	1	77,56
3	2,33	0,002	3	77,67

PENUTUP

A. Kesimpulan

Katalis yang digunakan pada penelitian ini ($\text{Fe}_{1,7}\text{Ni}_{1,43}\text{O}_4$) memiliki aktivitas katalitik dalam reaksi *Aquathermolysis* residu PPSDM Migas, meskipun aktivitasnya tidak sebesar aktivitas katalis yang dilaporkan oleh peneliti-peneliti sebelumnya yang lebih fokus pada peningkatan perolehan minyak bumi. Katalis yang digunakan reaktif terhadap senyawa aromatik untuk dikonversi menjadi alifatik. Semakin besar rasio berat katalis terhadap reaktan, semakin rendah

viskositas produk reaksi yang dihasilkan. Bila dibandingkan dengan residu awal maka penurunan viskositas produk reaksi tanpa katalis, katalis/reaktan = 0,002; dan katalis/reaktan = 0,01 berturut-turut 3,00%, 3,33%, dan 6,00%. Semakin besar rasio berat residu : akuades, semakin rendah viskositas produk reaksi yang dihasilkan. Bila dibandingkan dengan residu awal maka penurunan viskositas produk reaksi rasio berat katalis : akuades = 2,33 dan 0,43 berturut-turut 6,00% dan 19,76%. Waktu reaksi tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan viskositas produk reaksi pada kondisi percobaan. Hal tersebut dimungkinkan karena aktivitas katalis menurun seiring dengan penambahan waktu reaksi.

B. Saran

Penelitian ini masih sangat terbuka untuk dikembangkan, beberapa hal diantaranya adalah; (1) penggunaan reaktor dengan desain untuk dapat dioperasikan pada tekanan dan temperatur tinggi dan dilengkapi dengan pengaduk, (2) penelitian mengenai optimasi kondisi percobaan (besarnya pengaruh masing-masing faktor percobaan), (3) penggunaan katalis lain atau pengembangan katalis pada penyangga (zeolite, karbon aktif, dan lainnya).

DAFTAR PUSTAKA

- BP. (2015). BP Statistical Review of World Energy, <http://www.bp.com/statisticalreview>, diakses 2 Juni 2016.
- Chen, Y., He, J., Wang, Y., dan Li, P. (2010), GC-MS used in study on the mechanism of the viscosity reduction of heavy oil through aquathermolysis catalyzed by aromatic sulfonic $H_3PMo_{12}O_{40}$, *Energy*, 35, 3454-3460.
- Dejhosseini, M., Aida, T., Watanabe, M., Takami, S., Hojo, D., Aoki, N., & Adschiri, T. (2013). Catalytic cracking reaction of heavy oil in the presence of cerium oxide nanoparticles in supercritical water. *Energy & Fuels*, 27(8), 4624-4631.
- Fan, H., Zhang, Y., dan Lin, Y. (2004). The catalytic effects of minerals on aquathermolysis of heavy oils, *Fuel*, 83 (14–15), 2035-2039.
- Head, I. M., Jones, D. M., & Larter, S. R. (2003). Biological activity in the deep subsurface and the origin of heavy oil. *Nature*, 426(6964), 344-352.
- Li, C., Yang, C., & Shan, H. (2007). Maximizing propylene yield by two-stage riser catalytic cracking of heavy oil. *Industrial & engineering chemistry research*, 46(14), 4914-4920.
- Maity, S. K., Ancheyta, J., & Marroquín, G. (2010). Catalytic aquathermolysis used for viscosity reduction of heavy crude oils: a review. *Energy & Fuels*, 24(5), 2809-2816.
- Muraza, O., & Galadima, A. (2015). Aquathermolysis of heavy oil: A review and perspective on catalyst development. *Fuel*, 157, 219-231.
- OPEC, (2015). *World Oil Outlook*, http://www.opec.org/opec_web/static_files_project/media/downloads/publications/WOO%202015.pdf, diakses 2 Juni 2016.
- Ramirez-Corredores, M.M (2017). *The Science and Technology of Unconventional Oils: Chapter 5 - Bottom of the Barrel Upgrading Technologies*, Academic Press, Cambridge.
- Selby, R., Alikhan, A. A., & Ali, S. M. (1989). Potential of non-thermal methods for heavy oil recovery. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 28(04).
- Suwaid, M.A., Varfolomeev, M.A., Al-muntaser, A.A., Yuan, C., Starshinova, V.L., Zinnatullin, A., Vagizov, F.G., Rakhmatullin, I.Z., Emelianov, D.A., dan Chemodanov, A.E. (2020). In-situ catalytic upgrading of heavy oil using oil-soluble transition metal-based catalysts. *Fuel*, 281, 1-13.
- Vakhin, A.A., Aliev, F.A., Mukhamatdinov, I.I, Sitnov, S.A., Kudryashov, S.I., Afanasiev, I.S., Petrashov, O.V., dan Nourgaliev, D.K. (2021). Extra-Heavy Oil Aquathermolysis Using Nickel-Based Catalyst: Some Aspects of In-Situ Transformation of Catalyst Precursor. *Catalysts*. 11(189), 1-22.
- Vermeiren, W., & Gilson, J. P. (2009). Impact of zeolites on the petroleum and petrochemical industry. *Topics in Catalysis*, 52(9), 1131-1161.
- Wang, Y., Chen, Y., He, J., Li, P., dan Chao Yang, C. (2010), Mechanism of Catalytic Aquathermolysis: Influences on Heavy Oil by Two Types of Efficient Catalytic Ions: Fe^{3+} and Mo^{6+} , *Energy Fuels*, 24, 1502–1510

LAMPIRAN

Pada Lampiran 1 s.d. 10 disajikan gambar-gambar saat pelaksanaan penelitian



Lampiran 1 Pencampuran larutan garam katalis



Lampiran 2 Pengaturan pH larutan garam katalis menggunakan larutan NaOH



Lampiran 3 Larutan garam katalis pada pH 8,0



Lampiran 4 Settling hasil pencucian larutan garam katalis



Lampiran 5 Penyaringan larutan garam katalis setelah dicuci dengan akuades 10x



Lampiran 6 Garam katalis hasil



Lampiran 9 Reaktor *aquathermolysis*



Lampiran 7 Garam katalis hasil penguapan pada 80 °C 24 jam dan dilanjutkan pada 120 °C 24 jam



Lampiran 10 Reaktor dalam Heater



Lampiran 8 Katalis hasil kalsinasi

