

Peningkatan Mutu Sifat Alir Minyak Residu pada Temperatur Rendah dengan Penambahan *Pour Point Depressant*

Yoeswono^{1*}, A. P. Jati², Rohmadi¹, Desy Kurnia Puspaningrum¹

¹Pusat Pengembangan Sumber Daya Manusia Minyak dan Gas Bumi, Cepu

²Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

INFORMASI NASKAH

Diterima : 23 Juli 2025

Direvisi : 22 Oktober 2025

Disetujui : 13 November 2025

Terbit : 25 November 2025

Email korespondensi:

yoeswono@esdm.go.id

Laman daring:

<https://doi.org/10.37525/mz/2025-2/1193>

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan *pour point depressant* (PPD) terhadap penurunan titik tuang dan viskositas minyak residu (*Residu X*) pada temperatur rendah. PPD berfungsi sebagai aditif yang dapat mengubah morfologi kristal lilin dalam minyak sehingga memperbaiki sifat alirannya. Penelitian dilakukan dengan mencampurkan PPD jenis A, B, dan C ke dalam *Residu X* dengan variasi konsentrasi 2%, 4%, dan 6% berat. Karakterisasi dilakukan menggunakan GC-MS dan FTIR untuk mengetahui komposisi dan gugus fungsi. Uji sifat fisik meliputi pengukuran densitas awal, titik tuang, dan viskositas kinematik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua PPD yang diuji memiliki aktivitas dalam menurunkan titik tuang dan viskositas *Residu X*, dengan PPD B memberikan kinerja terbaik. PPD B mampu menurunkan titik tuang hingga 18 °C pada konsentrasi 6% berat, sedangkan PPD A dan C hanya menurunkan sebesar 3 °C pada konsentrasi yang sama. Penurunan viskositas tertinggi juga ditunjukkan oleh PPD B sebesar 179,314 mm²/s. Dengan demikian, PPD B dinilai paling efektif dalam meningkatkan sifat alir minyak residu pada temperatur rendah.

Kata kunci: Minyak residu, *Pour Point Depressant*, Titik Tuang, Viskositas

ABSTRACT

This study aims to investigate the effect of adding a pour point depressant (PPD) on improving the low-temperature flow properties of residual oil (Residu X). PPD functions as an additive that modifies the wax crystal structure in the oil, thereby reducing the pour point and viscosity. The experiments were conducted by mixing three types of PPDs (A, B, and C) into Residu X at concentrations of 2%, 4%, and 6% by weight. The chemical composition of PPDs and Residu X was characterized using Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC-MS) and Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). The physical properties analyzed included initial density, pour point, and kinematic viscosity.

The results showed that all tested PPDs were capable of lowering both the pour point and viscosity of Residu X, with PPD B demonstrating the best performance. PPD B reduced the pour point by up to 18 °C at a 6 wt% concentration, while PPD A and C each achieved only a 3 °C reduction at the same level. The highest viscosity reduction, reaching 179.314 mm²/s, was also observed with PPD B. These findings indicate that PPD B is the most effective additive in improving the flow characteristics of residual oil at low temperatures, which could enhance the efficiency of storage and transportation processes.

Keywords : Residual oil, Pour Point Depressant, Pour Point, Viscosity

PENDAHULUAN

Minyak residu adalah fraksi minyak mentah yang tidak teruapkan dalam kolom fraksinasi kilang minyak bumi, yang dapat digunakan untuk pembuatan minyak bakar atau diolah lebih lanjut pada kilang-kilang modern Jones & Pujadó (2006). Pada umumnya residu memiliki densitas, viskositas, dan titik tuang yang relatif tinggi dan hal ini dapat menimbulkan permasalahan tersendiri dalam penyimpanan dan distribusinya.

Minyak residu pada umumnya dikelola dalam bentuk cair dan akan memerlukan perhatian tersendiri apabila minyak residu tersebut memiliki titik tuang tinggi sehingga membeku pada temperatur ambien. Beberapa metode yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut, antara lain pencampuran dengan minyak lain yang memiliki titik tuang rendah, penambahan aditif penurun titik tuang (*pour point depressant* = PPD), dan pengolahan lanjutan melalui proses perengkahan. Metode penurunan titik tuang melalui penambahan PPD menarik untuk dikaji karena dapat dilakukan tanpa memerlukan penambahan tanki timbun kapasitas besar mengingat aditif yang ditambahkan biasanya dalam volume kecil.

PPD merupakan zat aditif yang dapat mengubah struktur kristal zat lilin yang terkandung di dalam minyak residu sehingga dapat menurunkan titik tuang dan memperbaiki sifat alir pada temperatur rendah. Molekul PPD pada umumnya memiliki

ujung polar dan ujung non polar. Ujung non polar yang berupa gugus alkil berfungsi menyediakan inti nukleasi untuk penyerapan kristal lilin, yang mengkristal bersama dengan komponen lilin dalam minyak melalui gaya van der Waals. Ujung polar molekul PPD dapat membentuk gangguan sterik pada proses penataan molekul-molekul dalam minyak, sehingga melemahkan struktur padatan lilin dan memudahkan pergeseran molekul-molekul tersebut (Li dkk., 2021; Rangunathan dkk., 2020)

Pemahaman terhadap struktur, gugus fungsi, berat molekul, sifat-sifat fisik dan komposisi PPD bermanfaat untuk menghasilkan PPD yang dapat memperbaiki sifat alir minyak (Sivakumar dkk., 2018). Hasil penelitian Li dkk. (2021) menunjukkan bahwa kopolimer anhidrida olefin-maleat yang digunakan sebagai *pour point depressant* (PPD) memiliki efektivitas tinggi dalam mencegah pembentukan kristal lilin ketika panjang rantai polimernya disesuaikan dengan panjang rantai parafin minyak. Penyesuaian ini penting karena dapat mencegah kristal lilin saling mengunci, sehingga struktur padatan menjadi lebih lemah dan minyak tetap dapat mengalir pada temperatur rendah. Efektivitas penghambatan pembentukan kristal lilin bergantung pada komposisi serta panjang rantai parafin minyak. PPD tipe kopolimer dengan berat molekul tinggi lebih sesuai digunakan untuk minyak dengan

rentang n-parafin lebar dan jumlah karbon rendah, sedangkan kopolimer dengan berat molekul rendah lebih cocok untuk minyak dengan rentang n-parafin sempit dan jumlah karbon tinggi. Lebih lanjut, hasil penelitian Naga dkk. (1985) yang mengevaluasi kinerja beberapa ester styrene-maleic anhydride copolymers menunjukkan bahwa peningkatan berat molekul PPD berbanding lurus dengan penurunan titik tuang minyak residu. Khaklari & Talukdar (2021) dalam ulasannya juga melaporkan bahwa penggunaan PPD tipe surfaktan mampu menurunkan titik tuang minyak bakar secara signifikan. Proses esterifikasi asam organik seperti *acrylic* dan *methacrylic acids* dengan *dodecyl* atau *hexadecyl alcohol*, kemudian direaksikan dengan C18 α -olefin untuk membentuk kopolimer, menghasilkan PPD yang efektif dalam menurunkan titik tuang serta memperbaiki sifat alir minyak pada temperatur rendah. Hal ini juga sesuai dengan hasil penelitian Khidr (2019) yang menyintesis beberapa *n-alkyl methyl acrylate-vinyl acetate-methacrylic acid terpolymers* dan menemukan bahwa semakin panjang struktur rantai cabang pada PPD, semakin baik kemampuannya dalam menurunkan titik tuang dan memperbaiki sifat alir minyak bakar. PPD jenis terpolimer (*NAFOL 1822B methacrylate-vinyl acetate-methacrylic acid*) yang dicampurkan ke dalam minyak bakar terbukti mampu menurunkan titik tuang sebesar 21 °C (dari 15 °C menjadi -6 °C) pada konsentrasi 1.500 ppm.

Selain struktur dan berat molekul, jenis pelarut yang digunakan dalam formulasi PPD juga berpengaruh terhadap efektivitasnya dalam menurunkan titik tuang minyak. Pelarut berfungsi untuk mengencerkan komponen aktif sehingga dapat terdispersi dengan baik dalam minyak residu. Ragunathan dkk. (2020) dalam ulasannya melaporkan bahwa penambahan pelarut organik, seperti benzena, karbon disulfida, hidrokarbon terklorinasi, xilena, atau bahan kimia berbasis toluena lainnya, sebelum penambahan inhibitor polimer lilin dapat menurunkan viskositas minyak dan meningkatkan sifat alirnya pada temperatur rendah.

Selain diperlukan pemahaman terhadap karakteristik PPD, karakteristik minyak residu yang digunakan juga perlu diketahui

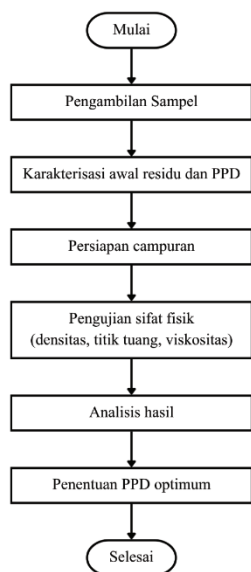
agar diperoleh kecocokan antara jenis PPD dan komposisi minyak. Setiap minyak residu memiliki komposisi hidrokarbon, kandungan lilin, dan distribusi panjang rantai karbon yang berbeda, sehingga responnya terhadap aditif juga bervariasi. Pemilihan PPD yang tidak sesuai dapat menyebabkan interaksi yang kurang optimal antara molekul aditif dengan komponen parafin dalam minyak, sehingga efektivitas penurunan titik tuang menjadi rendah. Oleh karena itu, sebelum menentukan jenis dan dosis PPD yang tepat, penting untuk memahami komposisi serta sifat fisik minyak residu, seperti viskositas, densitas, dan titik tuang awal, agar hasil optimasi yang diperoleh lebih akurat dan konsisten.

Berdasarkan hasil-hasil penelitian sebelumnya, telah diketahui bahwa efektivitas *pour point depressant* (PPD) dipengaruhi oleh struktur molekul, berat molekul, jenis pelarut, serta kesesuaiannya dengan karakteristik minyak residu yang digunakan. Namun, masih terbatas penelitian yang secara khusus mengevaluasi kinerja beberapa jenis PPD komersial terhadap minyak residu lokal yang memiliki titik tuang tinggi. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan untuk melakukan studi lanjutan guna menentukan jenis dan konsentrasi PPD yang paling sesuai dengan karakteristik minyak residu tertentu. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan pengujian terhadap tiga jenis PPD komersial (A, B, dan C) dengan variasi konsentrasi untuk mengetahui efektivitasnya dalam menurunkan titik tuang dan viskositas minyak residu (*Residu X*). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jenis dan konsentrasi PPD paling optimal yang dapat meningkatkan sifat alir minyak residu pada temperatur rendah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan pada tahun 2023 di Laboratorium X dan Laboratorium Terpadu Penelitian dan Pengujian (LPPT) Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Residu X yang digunakan merupakan minyak residu hasil olahan dari Kilang Minyak X, sedangkan PPD A, B, dan C diperoleh dari pasar komersial.

Tahapan penelitian secara umum ditunjukkan pada Gambar 1 dalam bentuk diagram alir penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Peralatan yang digunakan meliputi peralatan gelas volumetrik, termometer, penangas temperatur konstan, dan *magnetic stirrer*. Komposisi kimia Residu X dan PPD dianalisis menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) *Thermo Scientific Trace 1310 Gas Chromatograph* dengan detektor *Thermo Scientific ISQ LT Single Quadrupole Mass Spectrometer* di LPPT UGM Yogyakarta. Gugus fungsi kedua bahan tersebut dikonfirmasi menggunakan FTIR *Thermo Scientific Nicolet iS10* dengan metode lempeng KBr dan rentang pemindaian 650–4000 cm^{-1} di LPPT UGM Yogyakarta.

Pengujian densitas dilakukan berdasarkan metode ASTM D1298 (*Hydrometer Method*). Uji sifat alir pada temperatur rendah (*Cloud and Pour Point*) menggunakan alat Koehler KLA-3-TS/2 dengan prosedur mengacu pada ASTM D97-17b (ASTM International, 2022) tanpa modifikasi. Uji viskositas kinematik dilakukan berdasarkan ASTM D445-19a (ASTM International, 2021) di Laboratorium X. Perlu dicatat bahwa pengujian densitas hanya dilakukan terhadap minyak residu awal sebelum penambahan PPD. Densitas campuran antara minyak residu dan PPD tidak diuji karena keterbatasan volume sampel, serta pengujian difokuskan pada perubahan titik tuang dan viskositas sebagai parameter utama untuk menilai efektivitas PPD.

Kajian pengaruh PPD terhadap penurunan titik tuang dan viskositas minyak residu dilakukan dengan mencampurkan 2 gram PPD A ke dalam sejumlah minyak residu cair hingga diperoleh konsentrasi PPD sebesar 2% berat, kemudian diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 5 menit. Sampel hasil pencampuran diambil untuk dilakukan pengujian titik tuang dan viskositas kinematik. Kajian konsentrasi optimum dilakukan dengan variasi PPD A sebesar 4% dan 6% volume menggunakan prosedur yang sama. Tahapan serupa juga diterapkan pada PPD B dan C.

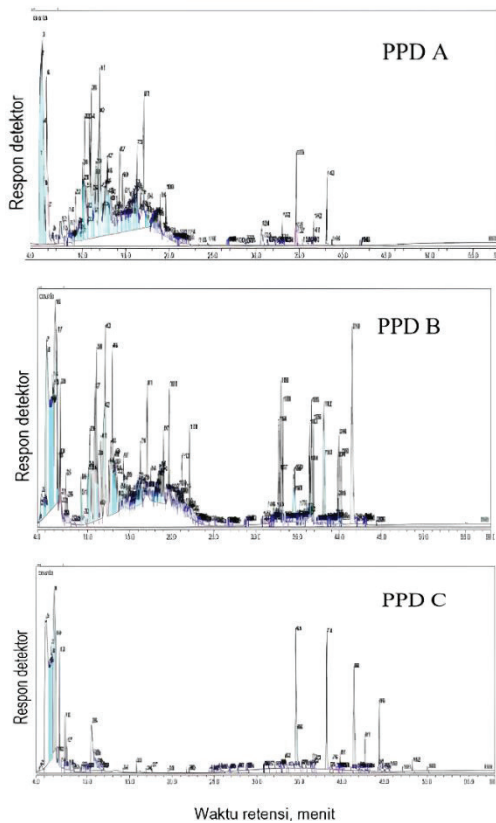
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Analisis GC-MS

Berdasarkan data GC-MS, seluruh PPD yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kemiripan komponen-komponen penyusunnya, namun dalam proporsi yang berbeda-beda (Gambar 2). PPD A tersusun atas 146 senyawa, PPD B tersusun atas 220 senyawa, dan PPD C tersusun atas 103 senyawa. Berdasarkan profil kromatogram PPD A, B, dan C yang diperoleh, untuk tujuan penyederhanaan dalam penyebutan, ditentukan tiga zona kromatogram, yaitu: Zona 1 (4 - 8 menit), Zona 2 (9 – 24 menit), dan Zona 3 (32 – 42 menit) (Tabel 1). Zona 1 pada umumnya merupakan senyawaan alkil benzena dengan 8 – 9 atom karbon (berat molekul 106 – 120), Zona 2 pada umumnya merupakan senyawaan turunan benzena yang lebih berat dan alkil alkana dengan 9 – 17 atom karbon (berat molekul 120 – 140), dan Zona 3 pada umumnya merupakan senyawaan ester, eter, normal alkana, dan alkil alkana dengan 17 – 35 atom karbon (berat molekul 240 – 352).

Alkil benzena dan alkil alkana yang terdapat pada Zona 1 dan 2 dimungkinkan merupakan senyawa-senyawa pengencer PPD meskipun beberapa laporan juga menyebutkan bahwa alkil benzena juga memiliki aktivitas penurun titik tuang (Ragunathan dkk., 2020). Beberapa senyawa yang terdapat dalam PPD yang ditinjau, antara lain: *1-docosanol*, *methyl ether*; *1-heneicosyl formate*; *3-chloropropionic acid*, *heptadecyl ester*; *octaethylene glycol monododecyl ether*; *22-tricosenoic acid*; *hexacosyl methyl ether*; *methyl tetracosyl ether*; dan *distearyl*

thiodipropionate dimungkinkan merupakan senyawa aktif yang berfungsi sebagai penurun titik tuang dengan mekanisme tertentu. Penggunaan senyawaan eter atau ester sebagai PPD juga telah dilaporkan oleh Yuan dkk. (2023), Volkova dkk. (2016), Khidr (2011), dan Kok (2014).



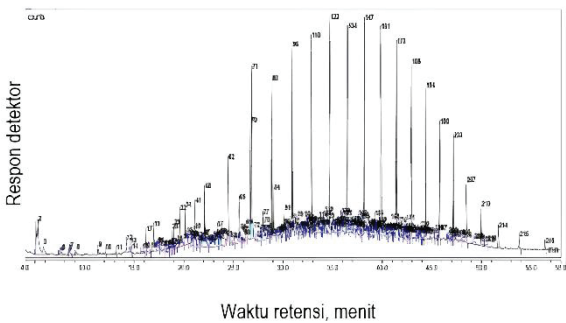
Gambar 2. Kromatogram PPD A, B, dan C

Tabel 1. Distribusi total konsentrasi komponen dalam PPD

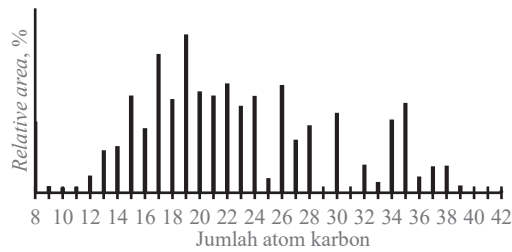
Zona	Waktu retensi, menit	Total konsentrasi komponen, %		
		PPD A	PPD B	PPD C
1	4-8	30.03	32.27	65.79
2	9-24	65.58	44.21	7.48
3	32-42	4.39	23.52	26.74

Kromatogram Residu X seperti disajikan pada Gambar 3. Tampak bahwa dalam Residu X terdapat 216 senyawa dengan 8 – 42 atom karbon (Gambar 4) dan berat molekul 106 – 592 a.m.u (Gambar 5). Komponen-komponen tersebut didominasi oleh alifatik normal (50,02%) seperti disajikan pada Tabel 2 hasil analisis GC-MS Residu

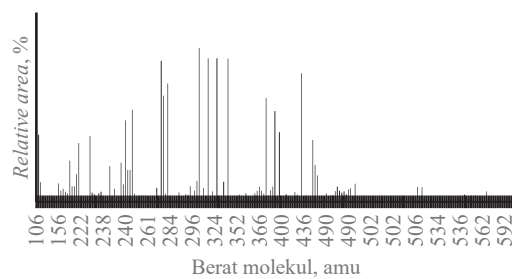
X. Kandungan n-parafin yang tinggi diketahui dapat meningkatkan titik tuang karena mudah membentuk kristal lilin pada suhu rendah (Khidr, 2019; Li dkk., 2021; Sivakumar dkk., 2018). Kondisi ini dimungkinkan yang menyebabkan Residu X beku pada temperatur ambien (titik tuang 45 °C).



Gambar 3. Kromatogram Residu X



Gambar 4. Distribusi jumlah atom karbon senyawa penyusun Residu X



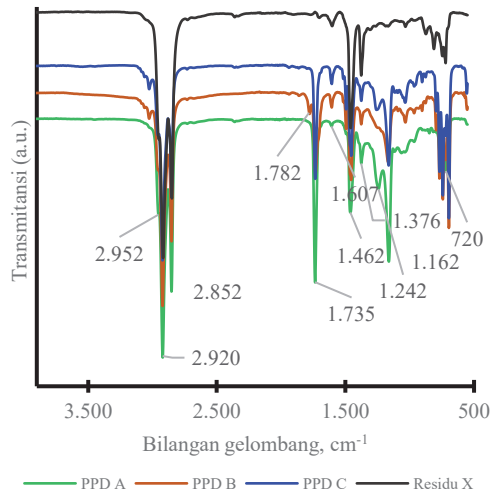
Gambar 5. Distribusi berat molekul senyawa penyusun Residu X

Tabel 2. Distribusi tipe hidrokarbon dalam Residu X

No.	Tipe hidrokarbon	Konsentrasi, %
1	Alifatik normal	50.02
2	Alifatik bercabang	13.22
3	Olefinik	0.00
4	Aromatik	5.79
5	Hetero-organik	30.97

B Analisis FTIR

Spektra FTIR dari PPD A, B, C, dan Residu seperti disajikan pada Gambar 6. Tidak terdapat perbedaan signifikan terhadap puncak-puncak serapan yang diperoleh dari PPD A, B, dan C.



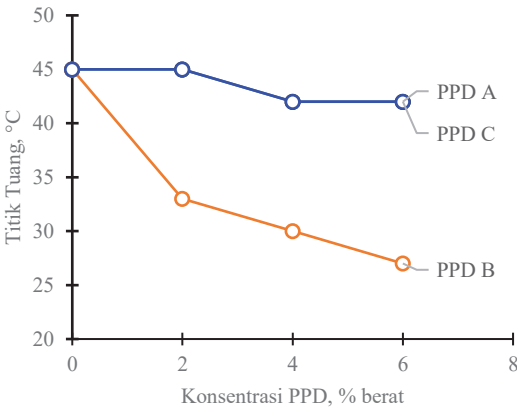
Gambar 6. Spektra IR PPD A, PPD B, PPD C, dan Residu X

Puncak rentang C-H tak simetris tampak pada daerah sekitar 2953 cm⁻¹. Puncak rentang C-H, yang terkait dengan adanya gugus metil dan metilena, tampak pada daerah sekitar 2921 dan 2852 cm⁻¹. Puncak pada daerah sekitar 1735 cm⁻¹ yang muncul pada spektra PPD A, B, dan C tetapi tidak muncul pada spektra Residu X mengindikasikan adanya rentang C=O yang menunjukkan keberadaan gugus karbonil, yang dapat berasal dari senyawa dengan gugus fungsi ester, aldehida, atau keton. Puncak pada daerah sekitar 1607 cm⁻¹ mengindikasikan adanya rentang C=C cincin benzena. Puncak-puncak serapan pada daerah 880 – 756 cm⁻¹ mengindikasikan adanya aromatik tersubstitusi (Fidel, 2012). Puncak pada daerah sekitar 1462 cm⁻¹ (bengkok C-H pada gugus metilena) dan 1376 cm⁻¹ (bengkok C-H pada gugus metil) mendukung prediksi tersebut. Serapan pada daerah sekitar 720 cm⁻¹ menunjukkan (CH₂)_n yaitu adanya senyawa rantai alkana panjang, terkandung dalam minyak Residu X. Puncak pada daerah sekitar 1242 dan 1162 cm⁻¹ menunjukkan gugus fungsi C-O sebagaimana yang terdapat pada gugus eter atau ester.

C. Uji Titik Tuang

Pada Gambar 7 disajikan pengaruh

konsentrasi PPD terhadap titik tuang campuran. Tampak bahwa penambahan PPD A dan C dengan variasi massa 2 % berat tidak terjadi penurunan titik tuang, sementara itu penambahan PPD B menghasilkan penurunan titik tuang yang signifikan 12 °C. Penambahan PPD lebih lanjut (4% berat), seluruh PPD memberikan dampak penurunan titik tuang campuran. Penurunann titik tuang campuran pada penambahan 4% berat, baik PPD A, B, ataupun C memberikan penurunan titik tuang sebesar 3 °C. Peningkatan konsentrasi PPD pada 6% berat tidak menghasilkan penurunan titik tuang untuk penggunaan PPD A dan B, sedangkan PPD C masih memberikan penurunan titik tuang sebesar 3 °C, sehingga titik tuang campuran menjadi 27 °C dan campuran tidak lagi membeku pada temperatur ambien sebagaimana yang menjadi tujuan penelitian ini.



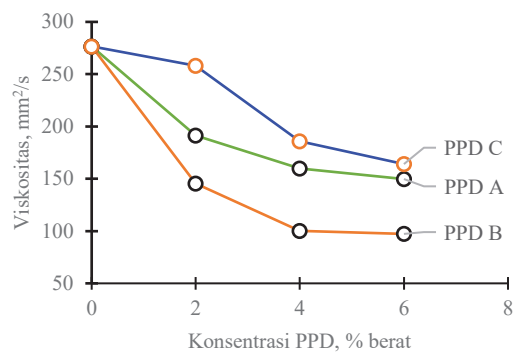
Gambar 7. Pengaruh penambahan PPD ke dalam Residu X terhadap titik tuang campuran.

Kegagalan suatu minyak mengalir pada temperatur tertentu berhubungan dengan kandungan parafin dan viskositas minyak tersebut. Alifatik normal (*n*-parafin) rantai panjang memiliki titik tuang tinggi. Senyawa *n*-parafin cepat membeku karena terdapat gaya dispersi london (Van der Waals) antar molekul. Meskipun gaya ini tergolong lemah secara individual, jumlahnya sangat banyak dan tersusun rapat dalam struktur kristalin lilin sehingga diperlukan energi yang relatif tinggi untuk mengganggu atau memutus keteraturan molekul yang terbentuk (Schobert, 2013). Penambahan PPD dapat mengganggu proses penataan molekul-molekul dalam minyak, sehingga melemahkan susunan struktur pada padatan lilin (Li dkk., 2021; Ragunathan dkk.,

2020) dan menyebabkan titik tuang menurun.

D. Uji Titik Tuang

Penambahan PPD ke dalam Residu X berhasil menurunkan viskositas minyak campuran, dan penurunan tersebut semakin besar dengan meningkatnya konsentrasi PPD. PPD B memberikan penurunan viskositas terbesar dibandingkan PPD A dan C pada konsentrasi 2%, 4%, ataupun 6% berat. Residu X memiliki viskositas yang tinggi karena banyak mengandung parafin rantai panjang (50.02%). Molekul hidrokarbon yang memiliki konfigurasi zig-zag juga dapat membentuk konfigurasi tekuk dan berbelit. Semakin panjang rantai hidrokarbon maka kemungkinan terbentuk konfigurasi berbelit tersebut semakin meningkat



Gambar 8. Pengaruh penambahan PPD ke dalam Residu X terhadap viskositas campuran

Peningkatan panjang rantai hidrokarbon juga meningkatkan luas permukaan molekul sehingga gaya dispersi London antar molekul juga semakin kuat. Molekul besar, memerlukan energi lebih besar untuk bergerak melewati molekul lainnya karena interaksi antar molekul yang besar, sehingga viskositasnya relatif lebih tinggi dibandingkan molekul kecil. Pada kondisi cair, alkana bercabang dapat memiliki viskositas lebih tinggi dibandingkan isomer rantai lurusnya karena cabang rantai meningkatkan peluang interaksi dan gaya gesek antar molekul (Schobert, 2013). Namun, dalam kondisi padat atau saat pembentukan kristal, alkana rantai lurus justru lebih mudah mengkristal sehingga berkontribusi terhadap peningkatan titik tuang minyak.

Molekul-molekul PPD dapat berinteraksi dengan wax yang telah mengkristal sehingga menurunkan hambatan dan meningkatkan

ruang gerak molekul dalam Residu X sehingga memudahkan pergeseran-pergeseran molekul (Li dkk., 2021; Ragunathan dkk., 2020) yang berdampak pada penurunan viskositas sampel. Konsentrasi PPD yang lebih banyak akan memberikan viskositas lebih rendah karena interaksi wax yang telah mengkristal dengan molekul PPD lebih banyak.

E. Kinerja PDD

Berdasarkan uji titik tuang terhadap campuran hasil penambahan PPD ke dalam Residu X menunjukkan bahwa baik PPD A, B, dan C memiliki aktivitas sebagai penurun titik tuang dan PPD B memberikan kinerja yang paling baik dibandingkan PPD A dan C.

Pada Tabel 1 disajikan distribusi total konsentrasi komponen-komponen dalam PPD A, B, dan C berdasarkan zona waktu retensi yang ditentukan. Tampak bahwa PPD A lebih dominan alkil benzena dan normal alkana (Zona 1 dan 2) yang berfungsi sebagai pengencer/dispersan dibanding komponen aktif PPD (Zona 3). Hal ini dapat mengakibatkan komponen aktif terdispersi terlalu jauh sehingga tidak efektif dalam mencegah pembentukan kristal wax. Di lain hal karena ukuran molekul alkil benzena yang dengan rantai cabang yang relatif pendek belum dapat mengganggu packing molekular Residu X yang merupakan hasil dari gaya Van der Waals tiap-tiap molekul Residu X dengan molekul-molekul didekatnya saat minyak campuran didinginkan. Hal ini menjadikan PPD A relatif kurang efektif sebagai PPD untuk menurunkan titik tuang Residu X. PPD C memiliki konsentrasi bahan aktif PPD yang relatif besar (26.7%) namun juga mengandung pengencer (alkil benzena) Zona 1 yang jauh lebih banyak dibandingkan pengencer (alkil benzene) Zona 2. Kondisi ini menyebabkan terdispersinya komponen aktif PPD tidak diimbangi dengan kemampuan untuk mengganggu packing molekular Residu X akibat rantai cabang yang relatif pendek, sehingga PPD C juga relatif kurang efektif dalam menurunkan titik tuang Residu X. PPD B menunjukkan aktivitas yang paling baik dibandingkan PPD A dan C. PPD B memiliki komponen PPD aktif relatif besar (23.52%) dan didukung dengan komponen alkil benzena yang relatif besar (Zona 2). Kondisi ini menjadikan

pengencer dapat mendispersikan komponen aktif dengan baik dan dapat menghambat packing molekular komponen-komponen Residu X. Penggunaan PPD dan dispersan secara bersamaan dapat meningkatkan solubilitas dan dispersibilitas PPD (Su dkk., 2020).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penambahan pour point depressant (PPD) ke dalam minyak Residu X terbukti mampu menurunkan titik tuang dan viskositas minyak. Aktivitas penurunan titik tuang terbesar diperoleh dari penggunaan PPD B, yang menurunkan titik tuang Residu X sebesar 18 °C pada konsentrasi 6 % berat. Sementara itu, PPD A dan PPD C menunjukkan aktivitas penurunan yang sama, masing-masing sebesar 3 °C pada konsentrasi 6 % berat. Penambahan PPD juga berpengaruh terhadap viskositas, di mana PPD B memberikan penurunan viskositas paling besar (179,314 mm²/s pada 6 % berat) dibandingkan PPD A (126,855 mm²/s) dan PPD C (112,548 mm²/s). Berdasarkan hasil tersebut, PPD B dinilai paling efektif dalam meningkatkan sifat alir minyak Residu X pada temperatur rendah sehingga diharapkan dapat mempermudah proses penyimpanan dan distribusi serta menurunkan kebutuhan energi.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM International. (2021). *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity)*. <https://doi.org/10.1520/D0445-19A>

ASTM International. (2022). *Standard Test Method for Pour Point of Petroleum Products*. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0097-17BR22>

Fidel, R. B. (2012). *Evaluation and implementation of methods for quantifying organic and inorganic components of biochar alkalinity* [Iowa State University, Digital Repository]. <https://doi.org/10.31274/ETD-180810-290>

Jones, D. S. J. S., & Pujadó, P. R. (2006). Handbook of Petroleum Processing. Dalam *Handbook of Petroleum Processing*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/1-4020-2820-2/COVER>

Khaklari, G. H., & Talukdar, P. (2021). A REVIEW OF VARIOUS POUR POINT DEPRESSANTS USED FOR FLOW ASSURANCE IN OIL INDUSTRIES. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 6(1). <https://doi.org/10.33564/IJEAST.2021.V06I01.052>

Khidr, T. T. (2011). Pour point depressant additives for waxy gas oil. *Petroleum Science and Technology*, 29(1), 19–28. <https://doi.org/10.1080/10916460903330155>

Khidr, T. T. (2019). PREPARATION AND EVALUATION OF N-ALKYL METHYL ACRYLATE-VINYL ACETATE-METHACRYLIC ACID TERPOLYMERS AS POUR POINT DEPRESSANT FOR FUEL. *Petroleum and Coal*, 61(2), 277–284.

Kok, M. V. (2014). The effect of pour point depressant on the flow behavior of crude oils. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 36(2), 167–172. <https://doi.org/10.1080/15567036.2010.529573>

Li, W., Li, H., Da, H., Hu, K., Zhang, Y., & Teng, L. (2021). Influence of pour point depressants (PPDs) on wax deposition: A study on wax deposit characteristics and pipeline pigging. *Fuel Processing Technology*, 217. <https://doi.org/10.1016/J.FUPROC.2021.106817>

Naga, H. H. A. El, Azim, W. M. A. El, & Ahmed, M. M. (1985). Polymeric additives for pour point depression of residual fuel oils. *Journal of chemical technology and biotechnology. Chemical technology*, 35 A(5), 241–247. <https://doi.org/10.1002/JCTB.5040350506>

Ragunathan, T., Husin, H., & Wood, C. D. (2020). Wax formation mechanisms, wax chemical inhibitors and factors affecting chemical inhibition. Dalam *Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 10, Nomor 2). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/app10020479>

Schobert, H. (2013). *Chemistry of Fossil Fuels and Biofuels*. <https://doi.org/10.1017/9781107321110>

- CBO9780511844188
- Sivakumar, P., Sircar, A., Deka, B., Anumegalai, A. S., Suresh Moorthi, P., & Yasvanthrajan, N. (2018). *Flow improvers for assured flow of crude oil in midstream pipeline-A review*. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2018.01.022>
- Su, B., Wang, L., Xue, Y., Yan, J., Dong, Z., Lin, H., & Han, S. (2020). *Effect of Pour Point Depressants Combined with Dispersants on the Cold Flow Properties of Biodiesel-Diesel Blends*. 1–11. <https://doi.org/10.22541/AU.160226611.11924322/V1>
- Volkova, G. I., Anufriev, R. V, Yudina, N. V, & Tchaikovskaya, O. N. (2016). Investigation of the Pour Point Depression Ability of Polyalkyl Acrylate Additives After Sonication. *Russian Physics Journal*, 59, 1289–1294. <https://doi.org/10.1007/s11182-016-0904-7>
- Yuan, D., Liu, Q., Zhang, W., Liu, R., Jiang, C., Chen, H., Yan, J., Gu, Y., & Yang, B. (2023). Synthesis and Performance Testing of Maleic Anhydride–Ene Monomers Multicomponent Co-Polymers as Pour Point Depressant for Crude Oil. *Polymers*, 15(19), 3898. <https://doi.org/10.3390/POLYM15193898/S1>

