



Biopolimer dari Bahan Organik sebagai Biopolimer pada Metode EOR

Fitra Ayu Lestari, Muhammad Khairul Afdhol, Fiki Hidayat, dan Tomi Erfando

Department of Petroleum Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Islam Riau
Jl. Kaharuddin Nasution No. 113, Simpang Tiga, Pekanbaru, Riau - Indonesia 28284

Artikel Info:

Naskah Diterima:
9 Agustus 2020
Diterima setelah perbaikan:
19 Oktober 2020
Disetujui terbit:
30 Desember 2020

Kata Kunci:

Biopolimer
Polisakarida
Ekstraksi
Viskositas

ABSTRAK

Rendahnya area *sweep efficiency* selama *waterflooding* merupakan salah satu masalah dalam meningkatkan produksi minyak. *Sweep efficiency waterflood* kurang efektif dikarenakan permeabilitas air yang besar di batuan. Viskositas air bisa meningkat jika menambahkan polimer pada air sehingga bisa mengurangi permeabilitas air di batuan. Injeksi polimer cukup menjanjikan untuk meningkatkan produksi minyak. Biopolimer merupakan salah satu jenis polimer yang berasal dari makhluk hidup dengan komponen utama penyusunnya adalah karbohidrat. Bahan yang sering dijadikan biopolimer dan terdapat banyak di alam adalah polisakarida. Untuk mendapatkan polisakarida maka dilakukan ekstraksi pada bahan yang digunakan. Ekstraksi yang digunakan memiliki banyak jenis yang akan mempengaruhi biopolimer yang terbentuk. Pada review ini, berbagai aspek biopolimer dibahas mulai dari sumber biopolimer, jenis ekstraksi, dan serta uji reologi biopolimer.

© LPMGB - 2020

PENDAHULUAN

Injeksi air memiliki kekurangan yaitu *sweep efficiency* yang kecil (Binder, & Kurt, 2009) sehingga minyak yang terperangkap di dalam formasi masih cukup besar yaitu 50%-70% yang harus diproduksi menggunakan metode *enhanced oil recovery* (EOR) (Tabary & Bazin, 2007). Aplikasi EOR telah terbukti dapat meningkatkan produksi minyak sebesar 5%-30% (Abidin, dkk., 2012).

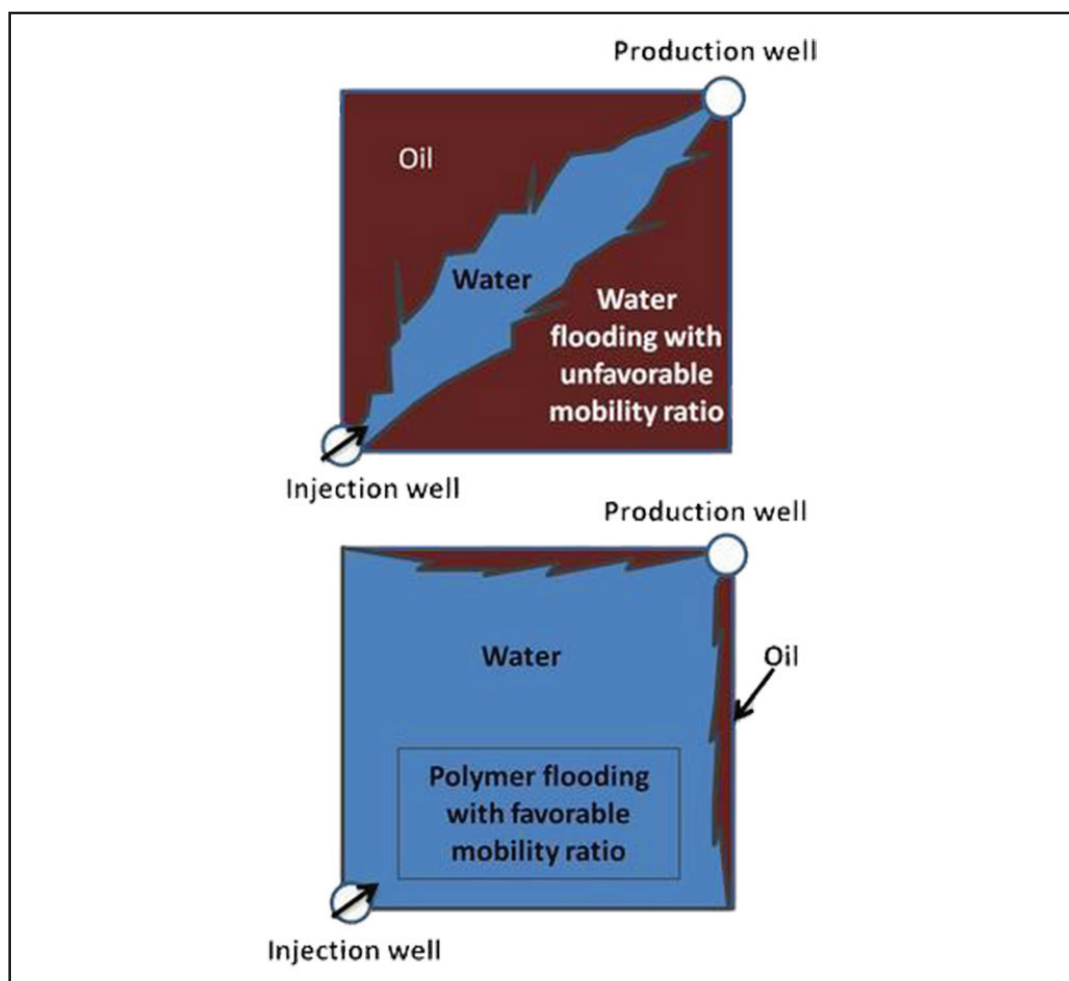
Salah satu cara yang digunakan pada metode EOR adalah dengan injeksi polimer (Huljannah, dkk., 2020). Injeksi polimer telah menjadi bagian terpenting dari

injeksi kimia (Thomas, 2008), dimana polimer akan meningkatkan viskositas air yang akan meningkatkan rasio mobilitas (M) sehingga meningkatkan *sweep efficiency* dan *recovery factor* (Agi, dkk., 2018; Al-Saleh, dkk., 2019; Da Silva, dkk., 2010; Putra & Temizel, 2018; Shi dkk., 2010; Wang dkk., 2018) *Schizophyllan, biopolymer for enhanced oil recovery (EOR)*.

Saat ini, perkembangan injeksi kimia untuk metode EOR minyak memiliki beberapa tantangan, seperti polimer sintetis tidak tahan terhadap degradasi mekanis, salinitas tinggi, dan suhu tinggi (Abidin dkk., 2012; Al-Saleh dkk., 2019). Perkembangan injeksi kimia terus berlanjut hingga ke penggunaan injeksi biopolimer karena biopolimer memiliki kelebihan seperti bahan yang mudah didapat di alam (Huljannah

Korespondensi:

E-mail: afdhol@eng.uir.ac.id (M.K. Afdhol)



Gambar 1
Perbandingan sweep efficiency (Zerkalov, 2015).

dkk., 2020), tahan terhadap salinitas tinggi, tahan terhadap suhu tinggi (Agi dkk., 2020), dan ramah lingkungan (Dufresne, 2017; Xue, dkk., 2017). Biopolimer merupakan polimer alami yang berasal dari makhluk hidup yang komponen utama penyusunnya adalah polisakarida (Rudin & Choi, 2013). Pertama, *paper* ini me-review tentang ketersediaan bahan baku. Kedua, *paper* ini membahas proses produksi bahan biopolimer. Ketiga, *paper* ini membahas tentang karakteristik dari biopolimer pada industri perminyakan.

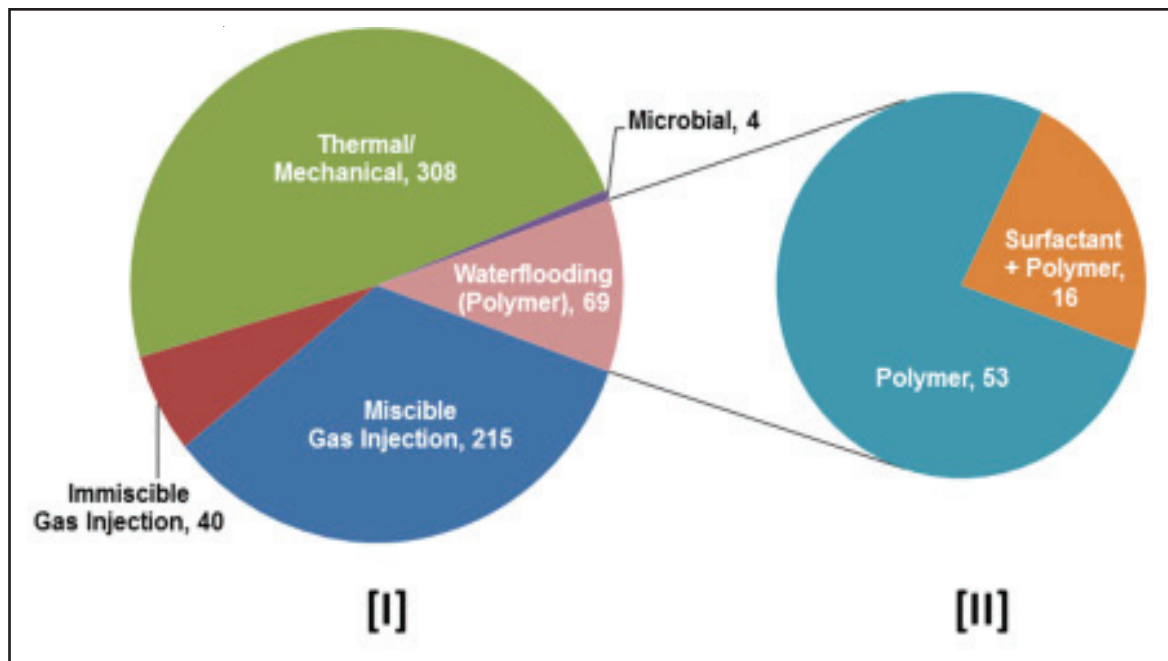
BAHAN DAN METODE

A. Ketersediaan Bahan Baku

Penelitian tentang biopolimer cukup menarik dikarenakan sifat fisik, kimia, dan biokimia yang bisa diterapkan pada berbagai bidang (Xia, dkk., 2018).

Polisakarida yang merupakan sumber polimer alami terdiri dari karbon, oksigen dan hidrogen yang diaplikasikan untuk membuat polimer (Baumberger & Ronsin, 2009). Bahan baku polisakarida pembentuk biopolimer cukup beragam dan banyak sumbernya di alam (Huljannah, dkk., 2020) serta dengan memanfaatkan limbah yang sudah tidak digunakan (Afdhol, dkk., 2020). Sumber polisakarida sangat banyak yaitu tumbuhan, mikroba, dan hewan (Afdhol, dkk., 2020). Polisakarida terbagi menjadi beberapa jenis seperti pati, selulosa, hemiselulosa, lignin, dan kitin (Rudin & Choi, 2013).

Biopolimer yang umum dan sudah komersil pada saat ini adalah injeksi polimer yang berasal dari polisakarida xanthan gum hasil fermentasi *Xanthomonas campestris* (Abidin, dkk., 2012; Afdhol & Sanal, 2018; Jang, dkk., 2015; Mahdavi & Zebarjad, 2018).



Gambar 2
Ringkasan proyek EOR di dunia (Rellegadla dkk., 2017).

Pati merupakan polimer alami yang terdapat pada tumbuhan untuk konsumsi energi dalam bentuk butiran (Kaushik, dkk., 2016; Rudin & Choi, 2013). Pati terdiri dari dua jenis ikatan yaitu amilosa yang memiliki ikatan α -1,4 diantara cincin glukosa serta amilopektin yang merupakan polimer bercabang dengan ikatan cabang α -1,6 (Stevens, 1990). Pati sering digunakan dalam berbagai macam produk mulai dari biopolimer (Agi, dkk., 2019), pengisi pasta gigi hingga produk makanan (Rudin & Choi, 2013).

Selulosa adalah polimer alami yang paling melimpah dan sumber karbon organik terbesar di bumi (Rudin, A: Choi, 2013). Selulosa merupakan polimer hidrofilik yang memiliki unit berulang D-anhidro-glukosa ($C_6H_{10}O_5$) yang bergabung dengan ikatan β -1,4-glikosida pada posisi C1 dan C4 (John & Anandjiwala, 2008). Biopolimer lain yang ditemukan pada tumbuhan adalah hemiselulosa dan lignin (Rudin, A: Choi, 2013) Hemiselulosa adalah kumpulan dari kelompok polisakarida yang terdiri dari kombinasi lima dan enam cincin gula, selain itu hemiselulosa sangat hidrofilik (John & Anandjiwala, 2008). Lignin merupakan molekul amorf yang memiliki ikatan silang yang sangat kompleks (John & Anandjiwala, 2008). Lignin yang berfungsi untuk melindungi selulosa dan hemiselulosa dari kerusakan kimia dan fisika (Reddy & Yang, 2005).

Kitin adalah biopolimer terbarukan yang paling melimpah di dunia yang dapat diperoleh dari sumber laut (Kurita, 2006). Kitin memiliki ikatan poli-beta-1,2-N-asetilglukosamin (GlcNAc) yang merupakan komponen utama dari eksoskeleton arthropoda, tendon, serta lapisan sistem pernapasan, ekskresi, dan pencernaan mereka (Clark & Smith, 1936; Herring, 1979). selain itu kitin juga terdapat di jamur, *alga*, *protozoa*, *cnidaria*, *aschelminther*, *endoprocta*, *bryozoa*, *phoronida*, *brachiopoda*, *echiurida*, *annelida*, *mollusca*, *onychophora*, *chaetognatha* *pogonophora*, *tunica*, *lobster*, udang, dan serangga. Salah satu biopolimer yang dihasilkan oleh kitin adalah kitosan (Yang & Zall, 1984).

1. Proses Ekstraksi

Biopolimer bisa didefinisikan sebagai polimer yang dihasilkan dari bahan alami (Telis, 2012). Ada banyak metode untuk mengekstrak polisakarida dimana harus disesuaikan dengan bahan yang akan digunakan karena metode ekstraksi akan mempengaruhi struktur polisakarida yang dihasilkan (X. Chen dkk., 2019; Huljannah, dkk., 2020; Zhan, dkk., 2020). Untuk mendapatkan polisakarida dari sumbernya maka diharuskan untuk mengikuti rangkaian ekstraksi yang benar (He, dkk., 2018). Rangkaian proses untuk mendapatkan polisakarida yaitu dengan proses *pre-treatment*, ekstraksi, dan

pemurnian (Chen & Huang, 2019; X. Chen, dkk., 2020; Zhan, dkk., 2020).

Untuk melihat berbagai kelebihan dan kekurangan dari beberapa jenis metode terlampir pada Tabel 1.

2. Pre-Treatment

Tahap ini sangat penting karena dengan penambahan pelarut seperti eter berguna untuk *degrease* (Zhan, dkk., 2020), yang berfungsi untuk memecahkan jaringan sampel agar sampel memiliki ukuran yang lebih kecil penetrasi (Aditiya, dkk., 2016; Tsegaye, dkk., 2019) dan digunakan untuk mendapatkan selulosa tanpa lignin (Bhatt & Shilpa, 2014; Chen & Fu, 2016). Peningkatan pelarut ke dalam sel sampel dan difusi zat terlarut merupakan aspek penting untuk memfasilitasi kemajuan proses ekstraksi (Chen, dkk., 2009).

3. Proses Ekstraksi

Ekstraksi polisakarida dari tumbuhan harus dilakukan dengan prosedur infiltrasi pelarut, disolusi, dan difusi polisakarida (Wu, dkk., 2020), yang bertujuan untuk merusak dinding sel agar efisiensi ekstraksi meningkat (Chen, dkk., 2020).

4. Pemurnian Polisakarida

Setelah proses ekstraksi sampel yang dihasilkan tidak hanya mengandung polisakarida dan turunannya tetapi juga terdapat komponen lain seperti protein, pigmen, dan molekul kecil lainnya. Kemudian dilakukan pemurnian untuk menghilangkan komponen-komponen yang tidak diinginkan (Chen, dkk., 2009).

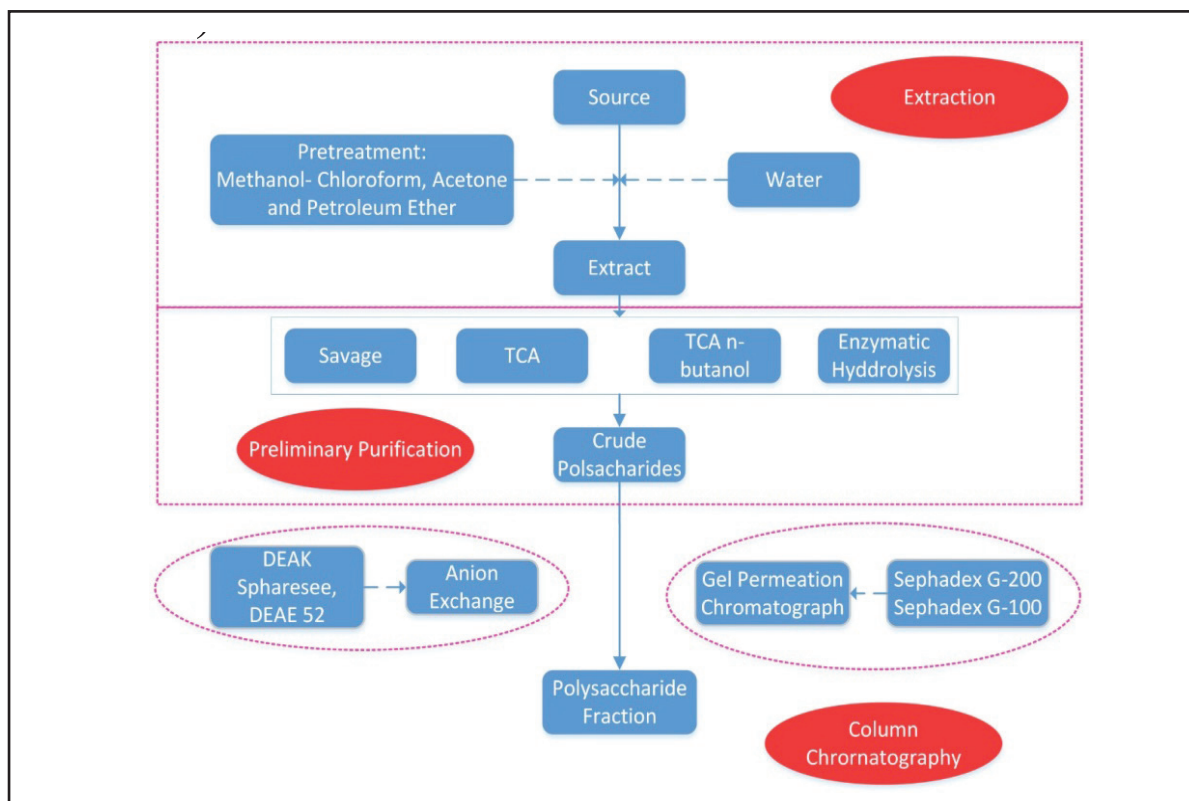
B. Reologi Biopolimer Pada Industri Migas

1. Uji Kompatibilitas

Uji kompatibilitas dilakukan untuk mengetahui non-homogenitas seperti pemisahan fasa, kekeruhan dan endapan pada biopolimer. Larutan ditutup rapat untuk menghindari penguapan, larutan yang bagus adalah larutan yang bening dan tidak terjadi endapan (Obuebite, dkk., 2018; Tobing & Eni, 2013).

2. Uji Viskositas

Viskositas merupakan parameter penting pada reologi polimer (Agi, dkk., 2018). Pada saat polimer melewati media berpori, maka viskositas polimer akan berubah (Agi, dkk., 2018). Menurunnya



Gambar 3
Proses ekstraksi polisakarida (Zhan dkk., 2019).

Tabel 1
Kelebihan dan Kekurangan metode ekstraksi

	Kelebihan	Kekurangan	
Ekstraksi Air.	Biaya murah dan penggunaannya mudah.	Banyak komponen selain polisakarida yang ikut terekstraksi.	(Zhan dkk., 2019)
	Mempercepat laju difusi polisakarida dan meningkat efisiensi ekstraksi dengan meningkatkan temperatur air.	Kerusakaan dinding sel polisakarida sedikit.	(He dkk., 2018) (Chen dkk., 2019)
Ekstraksi Alkali dan Asam.	Metode ekstraksi relatif sederhana dan meningkatkan aktivitas.	Memerlukan lebih banyak larutan ekstraksi dan terdapat banyak residu yang terlarut.	(Zhan dkk., 2019)
Ekstraksi Enzim.	reaksi ringan dan laju ekstraksi yang lebih tinggi	Ikatan glikosida mudah hancur	(Yubin dkk., 2014)
		Enzim mudah rusak karena faktor eksternal.	(Zhan dkk., 2019)
		Merusak struktur polisakarida	(Chen dkk., 2019)
Ekstraksi Ultrasonik	Temperatur ekstraksi rendah, waktu ekstraksi rendah, laju ekstraksi tinggi, dan mudah.	Struktur molekul polisakarida bisa rusak karena ultrasonik.	(Zhan dkk., 2019)
	Bisa Dapat menghancurkan dinding sel dengan baik.		(Chen dkk., 2019)
Microwave extraction	Proses ekstraksi cepat, efisiensi ekstraksi tinggi, dan aman terhadap lingkungan.	Waktu pemanasan yang lama bisa merusak polisakarida.	(Zhan dkk., 2019)
Ekstraksi fluida super kritis	Tidak ada residu pelarut, tidak ada polusi, dan laju ekstraksi yang tinggi.	Biaya ekstraksi yang mahal, peralatan yang rumit, dan cakupan aplikasinya yang terbatas.	(Zhan dkk., 2019)
Ekstraksi <i>Ultra-high-pressure</i>	Waktu ekstraksi yang sedikit, efisiensi yang tinggi, dan penggunaan yang mudah.	Komponen selain polisakarida ikut terekstraksi memakan banyak energi.	(Zhan dkk., 2019)
<i>Dynamic high pressure micro fluidization</i>	Waktu ekstraksi yang cepat dan efisiensi ekstraksi yang tinggi.	Memutuskan rantai gula	(Zhan dkk., 2019)

viskositas dengan semakin naiknya kecepatan rotor menunjukkan jika polimer bersifat pseudoplastik (Liu dkk., 2014). Polisakarida yang sudah diekstraksi dilarutkan ke dalam air dengan konsentrasi tertentu, kemudian mengukur viskositas biopolimer terhadap *shear rate* yang terbentuk dengan *viscosimeter* (Xia, dkk., 2018). Konsentrasi dilarutkan ke dalam air dengan salinitas yang berbeda untuk menentukan ketahanan biopolimer terhadap salinitas (Obuebite, dkk., 2018), karena tingkat salinitas sangat mempengaruhi nilai viskositas polimer (Khalid, dkk., 2020).

3. Uji Core Flooding

Injeksi polimer dilakukan untuk meningkatkan *recovery oil* setelah dilakukan injeksi air (*secondary recovery*) (Obuebite, dkk., 2018). Injeksi polimer telah terbukti berhasil meningkatkan produksi minyak. ketika injeksi polimer, rasio mobilitas antara fluida yang mendesak dengan fluida yang didesak

Tabel 2
Perbandingan viskositas Xanthan Gum dan HPAM pada konsentrasi yang sama

Bahan	Viskositas (Cp)			
	25°C	50°C	70°C	85°C
Xanthan Gum	27.8	16.1	10.4	11.8
HPAM	10.2	5.49	3.3	3.79

akan menjadi lebih baik dibandingkan dengan injeksi air, oleh karena itu *sweep efficiency* minyak menjadi besar (Agi, dkk., 2018). Untuk melihat reologi biopolimer secara keseluruhan terlampir pada Table 3.

HASIL DAN DISKUSI

Biopolimer merupakan bioproduk yang sangat berguna diberbagai industri salah satunya industri perminyakan. Sumbernya yang terdapat di alam

Tabel 3
Reologi biopolimer

Biopolimer	Kompatibilitas	Viskositas	Thermal Stability (°C)	Core Flooding	Referensi
Okra	Kompatibel dan tidak ada endapan	62.32 - 228.78 cP	180	Rf = 26.3%	(Obuebite dkk., 2018; Zaharuddin dkk., 2014)
Ewedu	Kompatibel dan tidak ada endapan	TD	TD	Rf = 18.5 %	(Obuebite dkk., 2018)
Editan	Kompatibel dan tidak ada endapan	TD	TD	RF == 18.1%	(Obuebite dkk., 2018)
Marine Athelia	Keruh	2839.43 cP	125	OR = 33.8%	(Xia dkk., 2018)
Cissus Polpunea	TD	0.2 Pa.S	Viskositas Terus Naik Hingga Suhu 80°C	COR = 65%	(Agi dkk., 2020)
Singkong	TD	0.29 Pa.S	Viskositas Terus Naik Hingga Suhu 80°C	TD	(Agi dkk., 2019)

TD = Tidak Disebutkan, RF = Recovery Factor, OR = Oil Recovery, COR = Cummulative oil recovery

dan berlimpah merupakan salah satu kelebihan dari biopolimer. Biopolimer didapat dengan cara diekstraksi dari sumbernya. Perbedaan sumber biopolimer serta metode ekstraksi yang digunakan akan mempengaruhi biopolimer yang terbentuk (Pu, dkk., 2018). Biopolimer yang terbentuk terlebih dahulu diuji reologinya (Wang, 1991).

Menentukan metode ekstraksi biopolimer yang cocok merupakan salah satu tantangan dalam pengaplikasiannya ke lapangan. Contohnya, penggunaan asam kuat seperti HCl dan H₂SO₄ pada saat ekstraksi tidak dianjurkan karena dapat merusak struktur permukaan polisakarida sehingga mengurangi kekristalisasinya (Agi, dkk., 2020).

Ketahanan biopolimer terhadap salinitas, *thermal*, dan gaya geser yang tinggi dan ramah lingkungan membuat biopolimer memiliki nilai lebih (Abidin, dkk., 2012; Svestrup, dkk., 2016). Untuk memaksimalkan kinerja biopolimer *starch* maka ditambahkan zat yang bersifat hidrofobik yang memiliki sifat anti mikroba (Chillo, dkk., 2008).

KESIMPULAN DAN SARAN

polisakarida dan turunannya yang sumbernya sangat mudah ditemui dapat digunakan menjadi biopolimer pada metode EOR. Biopolimer memiliki sumber, struktur, serta metode ekstraksi berbeda membuat biopolimer memiliki karakteristik yang berbeda. Biopolimer dari polisakarida ramah lingkungan, tahan terhadap salinitas dan suhu yang

tinggi, serta menunjukkan potensi meningkatkan *recovery factor* dari uji *core flooding*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Islam Riau atas izin dan dukungan untuk studi ini sesuai dengan nomor kontrak 164/KONTRAK/LPPM-UIR/5/2020 sehingga penulisan paper ini bisa diselesaikan.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
EOR	<i>Enhanced Oil Recovery</i>	
HPAM	<i>Hydrolized Polyacrylamide</i>	
GlcNAc	Poli-beta-1,2-N-Asetilglukosamin	
HCl	Asam Klorida	
H ₂ SO ₄	Asam Sulfat	
RF	<i>Recovery Factor</i>	
OR	<i>Oil Recovery</i>	
COR	<i>Cummulative oil recovery</i>	

Simbol	Definisi	Satuan
TD	Tidak Disebutkan	
M	Rasio Mobilitas	
TCA	Metode yang digunakan untuk menghilangkan protein pada polisakarida	
cP	Centipoise	
°C	Derajat Celcius	

KEPUSTAKAAN

- Abidin, A. Z., Puspasari, T. & Nugroho, W. A.**, 2012. Polymers for Enhanced Oil Recovery Technology. *Procedia Chemistry*, Volume 4, pp. 11-16.
- Aditiya, H. B., Mahlia, T.M.I., Chong, W.T., Nur, H., & Sebayang, A.H.**, 2016. Second generation bioethanol production: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 66, pp. 631-653.
- Afdhol, M. K. Erfando, T., Hidayat, F., Hasibuan, M.Y., & Siregar, C.P.**, 2020. Application of Pineapple Skin Waste as a Source of Biosolvent for Use as Wax Inhibitor. *Journal of Earth Energy Engineering*, 9(2), pp. 102-111.
- Afdhol, M. K.**, 2020. A Laboratory Scale Synthesis of Ethanol from Agricultural Waste as Bio-based Solvent for Waxy-Paraffinic Crude Oil Mitigation. Malacca, Malaysia, IOP Publishing.
- Afdhol, M. K., Lubis, H. Z. & Siregar, C. P.**, 2019. Bioethanol production from tea waste as a basic ingredient in renewable energy sources. *Journal of Earth Energy Engineering*, 8(1), pp. 21-26.
- Agi, A., Junin, R., Abdullah, M. O., Jaafar, M.Z., Arsad, A., Wan Sulaiman, WR., Moh Norddin, M.N.A, Abdurrahman, M., Abbas, A., Gbadamosi, A., & Azli, N.B.**, 2020. Application of polymeric nanofluid in enhancing oil recovery at reservoir condition. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, Volume 194, p. 107476.
- Agi, A., Junin, R. & Gbadamosi, A.**, 2018. Mechanism governing nanoparticle flow behaviour in porous media: insight for enhanced oil recovery applications. *International Nano Letters*, Volume 8, p. pages49–77.
- Agi, A., Junin, R., Gbadamosi, A., Abbas, A., Azli, N.B., & Oseh, J.**, 2019. Influence of nanoprecipitation on crystalline starch nanoparticle formed by ultrasonic assisted weak-acid hydrolysis of cassava starch and the rheology of their solutions. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, Volume 142, p. 107556.
- Agi, A., Junin, R., Gbonhinbor, J. & Onyekonwu, M.**, 2018. Natural polymer flow behaviour in porous media for enhanced oil recovery applications: a review. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, Volume 8, p. 1349–1362.
- Al-Saleh, M. A., Yusuf, A.A., Jumaa, M.A., Hammoud, A., & Al-Shammari, T.**, 2019. Biopolymer solution evaluation methodology: Thermal and mechanical assessment for enhanced oil recovery with high salinity brines. *Processes*, 7(6), p. 339.
- Baumberger, T. & Ronsin, O.**, 2009. From thermally activated to viscosity controlled fracture of biopolymer hydrogels. *The Journal of Chemical Physics*, Volume 130, p. 061102.
- Bhatt, S. M. & Shilpa**, 2014. Lignocellulosic feedstock conversion, inhibitor detoxification and cellulosic hydrolysis—a review. *Biofuels*, 5(6), p. 633–649.
- Binder, G. G., West, R. C. & Kurt, H.**, 2009. United States Patent Office. *Journal of the American Society for Naval Engineers*.
- Chen, F. & Huang, G.**, 2019. Extraction, derivatization and antioxidant activity of bitter melon polysaccharide. *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 141, pp. 14-20.
- Chen, H. & Fu, X.**, 2016. Industrial technologies for bioethanol production from lignocellulosic biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 57, pp. 468-478.
- Chen, R., Meng, F., Zhang, S. & Liu, Z.**, 2009. Effects of ultrahigh pressure extraction conditions on yields and antioxidant activity of ginsenoside from ginseng. *Separation and Purification Technology*, 66(2), pp. 340-346.
- Chen, X., Zhang, H., Du, W., Qian, L., Xu, Y., Huang, Y., Xiong, Q., Li, H., & Yuan, J.**, 2020. Comparison of different extraction methods for polysaccharides from *Crataegus pinnatifida* Bunge. *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 150, pp. 1011-1019.
- Chillo, S., Flores, S., Mastromatteo, M., Conte, A., Gerschenson, L., & del Nobile, M.A.**, 2008. Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties. *Journal of Food Engineering*, 88(2), pp. 159-168.
- Clark, G. L. & Smith, A. F.**, 1936. X-ray Diffraction Studies of Chitin, Chitosan, and Derivatives. *The Journal of Physical Chemistry*, 40(7), p. 863–879.

- Da Silva, I., Lucas, E. & De Franca, F.**, 2010. Study of conditions for polyacrylamide use in petroleum reservoirs: physical flow simulation in porous media. *Chemistry & Chemical Technology*, 4(1), p. 73–80.
- Dufresne, A.**, 2017. Cellulose nanomaterial reinforced polymer nanocomposites. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, Volume 29, pp. 1-8.
- He, L., Yan, X., Liang, J., Li, S., He, H., Xiong, Q., Lai, X., Hou, S., & Huang, S.**, 2018. Comparison of different extraction methods for polysaccharides from *Dendrobium officinale* stem. *Carbohydrate Polymers*, Volume 198, pp. 101-108.
- Herring, P. J.**, 1979. Marine Ecology and natural products. *The Journal Pure and Applied Chemistry*, Volume 51, pp. 1901-1911.
- Huljannah, M., Lestari, F. A. & Erfando, T.**, 2020. Preliminary Study on The Utilization Of Seaweed and Green Grass Jelly Leaves as Candidate Alternatives for EOR Polymer. *Teknik*, 41(3), pp. 246-252.
- Jang, H. Y., Zhang, K., Chon, B. H. & Choi, H. J.**, 2015. Enhanced oil recovery performance and viscosity characteristics of polysaccharide xanthan gum solution. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Volume 21, pp. 741-745.
- John, M. J. & Anandjiwala, R. D.**, 2008. Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber reinforced composites. *Polymer Composites*, 29(2), p. 187–207.
- Kaushik, K., Sharma, R. B. & Agarwal, S.**, 2016. Natural polymers and their applications. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 37(2), p. 30–36.
- Khalid, I., Lestari, F. A., Afdhol, M. K. & Hidayat, F.**, 2020. Potensi Biopolimer dari Ekstraksi Nanoselulosa Daun Kapas sebagai Agen Peningkatan Viskositas pada Injeksi Polimer. *Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 9(4), p. 146–153.
- Kurita, K.**, 2006. Chitin and chitosan: functional biopolymers from marine crustaceans. *Marine Biotechnology*, 8(3), pp. 203-226.
- Mahdavi, E. & Zebarjad, F.**, 2018. Screening criteria of enhanced oil recovery methods. In: *Fundamentals of Enhanced Oil and Gas Recovery from Conventional and Unconventional Reservoirs*. Amsterdam: Elsevier, pp. 41-59.
- Obuebite, A. A., Onyekonwu, M. O., Akaranta, O. & Uzoho, C. U.**, 2018. Effect of Salinity and Divalent Ions on Local Bio Polymers. *Lagos, Nigeria, SPE*.
- Putra, D. & Temizel, C.**, 2018. The Optimization and Analysis of Hydrocarbon Recovery under Injection of Biopolymer, Synthetic Polymer and Gels in a Heterogeneous Reservoir. *Journal of Earth Energy Engineering*, 7(1), pp. 19-41.
- Pu, W., Shen, C., Wei, B., Yang, Y. & Li, Y.**, 2018. A comprehensive review of polysaccharide biopolymers for enhanced oil recovery (EOR) from flask to field. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, Volume 61, pp. 1-11.
- Reddy, N. & Yang, Y., 2005. Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *TRENDS in Biotechnology*, 23(1), pp. 22-27.
- Rellegadla, S., Prajapat, G. & Agrawal, A.**, 2017. Polymers for enhanced oil recovery: fundamentals and selection criteria. *Applied Microbiology and Biotechnology*, Volume 101, p. pages4387–4402.
- Rudin, A. & Choi, P.**, 2013. Biopolymers. In: *The Elements of Polymer Science & Engineering (Third Edition)*. s.l.:Academic Press, pp. 521-535.
- Shi, L., Ye, Z., Zhang, Z., Zhou, C., Zhu, S., & Guo, Z.**, 2010. Necessity and feasibility of improving the residual resistance factor of polymer flooding in heavy oil reservoirs. *Petroleum Science*, Volume 7, p. 251–256.
- Stevens, M. P.**, 1990. *Polymer chemistry*. 2nd ed. New York: Oxford University Press.
- Sveistrup, M, van Mastrigt, F., Norrman, J., Picchioni, F., & Paso, K.**, 2016. Viability of biopolymers for enhanced oil recovery. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 37(8), p. 1160–1169.
- Tabary, R. & Bazin, B.**, 2007. *Advances in chemical flooding*. France, IFP-OAPEC.
- Telis, V. R. N.**, 2012. An introduction to biopolymer applications in food engineering. In: *Biopolymer Engineering in Food Processing*. Boca Raton: CRC Press, pp. 1-16.
- Thomas, S.**, 2008. Enhanced Oil Recovery – An Overview. *Oil & Gas Science and Technology*, Volume 63, pp. 9-19.
- Tobing, E. M. & Eni, H.**, 2013. Peningkatan Perolehan Reservoir Minyak 'R' dengan Injeksi Alkali-Surfaktan-Polimer pada Skala Laboratorium. *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, 47(2), p. 87–93.
- Tsegaye, B., Balomajumder, C. & Roy, P.**, 2019. Optimization of microwave and NaOH pretreatments of wheat straw for enhancing biofuel yield. *Energy Conversion and Management*, Volume 186, pp. 82-92.

- Wang, T., Li, Y., Xiu, J., Ma, Y., Lin, W., Ma, T., Wang, X., & Wang, L.**, 2018. A mathematical model for microbial enhanced oil recovery using biopolymer-producing microorganism. *Fuel*, Volume 216, pp. 589-595.
- Wang, X.-Y.**, 1991. Ch. F-9 Advances in Research, Production and Application of Biopolymers Used for Eor in China.. *Developments in Petroleum Science*, Volume 31, pp. 467-481.
- Wu, H., Shang, H., Guo, Y., Zhang, H., & Wu, H.**, 2020. Comparison of different extraction methods of polysaccharides from cup plant (*Silphium perfoliatum* L.). *Process Biochemistry*, Volume 90, pp. 241-248.
- Xia, W., Dong, X., Zhang, Y. & Ma, T.**, 2018. Biopolymer from marine *Athelia* and its application on heavy oil recovery in heterogeneous reservoir. *Carbohydrate Polymers*, Volume 195, pp. 53-62.
- Xue, Y., Mou, Z. & Xiao, H.**, 2017. Nanocellulose as a sustainable biomass material: Structure, properties, present status and future prospects in biomedical applications. *Nanoscale*, 9(39), p. 14758–14781.
- Yang, T. C. & Zall, R. R.**, 1984. Absorption of metals by natural polymers generated from seafood processing wastes. *Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development*, 23(1), p. 168–172.
- Yubin, J., Miao, Y., Bing, W. & Yao, Z.**, 2014. The extraction, separation and purification of alkaloids in the natural medicine. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(1), pp. 338-345.
- Yuliusman, Y., Afdhol, M. K. & Sanal, A.**, 2018. Carbon monoxide and methane adsorption of crude oil refinery using activated carbon from palm shells as biosorbent. Bali, Indonesia, IOP Publishing.
- Zaharuddin, N. D., Noordin, M. I. & Kadivar, A.**, 2014. The use of *Hibiscus esculentus* (Okra) gum in sustaining the release of propranolol hydrochloride in a solid oral dosage form. *BioMed Research International*, p. 735891.
- Zerkalov, G.**, 2015. *Polymer Flooding for Enhanced Oil Recovery*. Stanford: Stanford University.
- Zhan, Y., An, X., Wang, S., Sun, M., & Zhou, H.**, 2020. Basil polysaccharides: A Review on Extraction, Bioactivities and Pharmacological Applications. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 28(1), p. 115179.