

Studi Laboratorium “*Microbial Profile Modification*”

Oleh:

Sugihardjo dan Hadi Purnomo

I. PENDAHULUAN

Pada pengurasan minyak tahap *secondary recovery*, air diinjeksikan ke dalam reservoir untuk mendorong minyak ke lubang sumur. Di beberapa lapangan proses pendorongan menghasilkan efisiensi penyapuan (*sweep efficiency*) rendah. Hal tersebut dapat terjadi oleh beberapa faktor, selain mobilitas air jauh lebih tinggi dari pada minyak ada faktor lain yang sulit dikontrol yaitu: *chanelling*, *thief zones*, dan *high permeability zones*. Problema yang ada di dalam reservoir tersebut menyebabkan air injeksi akan mengalir melewati minyak dan terjadi *water break through* lebih awal.

Teknologi untuk memperbaiki efisiensi penyapuan pada kasus di atas disebut *selective plugging* atau *profile modification*. Teknologi konvensional menggunakan gel, polimer, dan busa untuk memperbaiki efisiensi penyapuan. Teknologi ini mempunyai nisbah sukses yang rendah, terutama disebabkan penempatan gel yang sulit di reservoir. Teknologi terkini adalah *Microbial Profile Modification* (MPM) dengan menggunakan mikroba *in situ* yang menghasilkan biopolimer, biofilm, dan biomassa untuk menyumbat zona permeabilitas tinggi.

Studi ini merupakan kajian laboratorium untuk mengamati seberapa besar terjadinya penurunan permeabilitas dari sebuah rancangan MPM yang akan diaplikasikan di lapangan.

II. MIKROORGANISME

Beberapa jenis mikroba indigen dapat menghasilkan biopolimer, biofilm, dan biomassa yang dapat menyumbat zona permeabilitas tinggi. Untuk menciptakan kondisi yang optimal perlu diinjeksikan nutrisi ke dalam reservoir agar mikroba tumbuh dengan cepat dan menghasilkan material penyumbat tersebut. Efektivitas penyumbatan sangat tergantung pada *strength* dan *stability* dari material penyumbat serta penurunan permeabilitas yang dihasilkan.

Mikroba dapat menghasilkan biopolimer seperti *Leuconostoc mesenteroides*,¹ *Bacillus licheniformis*,² atau kultur campuran yang biasa disebut Koleksi Kultur.³

Pada umumnya uji di laboratorium menggunakan kultur campuran yang ada pada air formasinya sendiri.

Pada analisis laboratorium, air formasi dari suatu reservoir diambil percontohnya, kemudian mikroba indigen campuran dibiakkan dengan beberapa nutrisi yang berbeda, untuk diamati bioproduk yang dihasilkan.

III. SELEKSI NUTRISI

Nutrisi merupakan media yang mengandung sumber nitrogen, protein, karbon, dan sumber mineral yang dapat merangsang mikroba tumbuh dengan cepat. Nutrisi dibuat dengan kandungan yang bervariasi dan diseleksi berdasarkan bioproduk yang dihasilkan. Setiap rancangan MPM mempunyai jenis nutrisi yang berbeda, mengingat di dalam air formasi kultur campuran bervariasi. Contoh beberapa campuran nutrisi dengan prosentase tertentu adalah: campuran NaCl, NaNO₃, NH₄NO₃, MgSO₄, KH₂PO₄, sukrosa, asam sitrik, dan sari ragi;² campuran glukosa, NaNO₃, (NH₄)₂SO₄, MgSO₄, larutan mengandung sedikit logam, dan NaCl mengandung fosfat buffer;³ campuran sukrosa, molase, KNO₃, NaCl, CaCl₂.2H₂O, MgCl₂.6H₂O, gliserol fosfat, sisteina, dan sodium askorbat.⁴

Uji kompatibilitas perlu dilakukan terhadap nutrisi yang terpilih dengan air formasi. Apabila campuran air formasi dan nutrisi membentuk endapan dan keruh maka nutrisi tersebut tidak dimasukkan dalam daftar seleksi.

IV. UJI TABUNG

Pada uji tabung, nutrisi yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam tabung bersama percontohan air formasi, kemudian diletakkan di dalam *autoclave* pada kondisi anaerobik dan suhu reservoir. Pada setiap interval waktu diukur beberapa parameter uji untuk memonitor pertumbuhan mikroba dan bioproduk yang dihasilkan, sehingga dapat ditentukan waktu pertumbuhan mikroba yang optimal. Waktu tersebut akan digunakan sebagai *shut-in time period* pada uji *coreflooding*.

Parameter uji yang penting pada tahap ini adalah: populasi mikroba, kekeruhan (*turbidity*), produksi

biopolimer, keasaman, viskositas, dan *gel strength*. Biomassa yang dihasilkan digambarkan oleh populasi, yang sangat diperlukan dalam pembentukan material penyumbat. Populasi mikroba antara 10^5 sampai dengan 10^8 adalah populasi yang baik. Apabila biopolimer dihasilkan maka viskositas akan naik beberapa kali lipat. Kemudian, salinitas perlu dikontrol mengingat setiap jenis mikroba hanya tumbuh pada kondisi salinitas tertentu, *Bacillus* tidak tumbuh pada pH 3 dan 5 tetapi tumbuh dengan baik dan menghasilkan polimer pada pH 9.¹ Stabilitas biopolimer untuk menyumbat diuji dengan *gel strength*, mengukur kekuatan dan stabilitas polimer apabila terjadi perubahan gaya atau tekanan. Sebagai tambahan, *Sulphate Reducing Bacteria* (SRB) perlu dimonitor karena dapat menyebabkan korosi.

Pada studi ini telah terpilih media dengan label L1 yang mengandung sumber-sumber NPK dan mineral. Media ini telah teruji dan terpilih dari beberapa media melalui uji tabung, yang menghasilkan biopolimer. Kemudian media L1 akan digunakan dalam uji *coreflooding*.

A. Coreflooding

Coreflooding bertujuan untuk menguji dan menunjukkan bahwa kombinasi nutrisi terpilih dan mikroba indigen sebagai rancangan MPM mampu menghasilkan bioproduk pada media berpori dan kondisi reservoir, mempunyai efektivitas mengontrol aliran air dan dapat menurunkan permeabilitas air pada skala laboratorium.

Material uji *coreflooding* terdiri dari nutrisi terpilih berdasarkan uji tabung (media L1), air formasi, dan batu inti. Batu inti yang digunakan adalah *preserve core*, di mana batu inti ini masih mengandung mikroba indigen dan tidak terkontaminasi dengan bakteri atau mikroba yang lain.

Skenario uji *coreflooding* yang perlu dirancang adalah: (1) ukuran *slug* nutrisi yang akan diinjeksikan (0,25, 0,50, 1,0 volume pori, dan injeksi kontinu). Ukuran *slug* yang terpilih adalah yang menghasilkan *permeability reduction factor* (PRF) terbesar dan ukuran *slug* terkecil, (2) Konsentrasi nutrisi, dan (3) *Shut-in time period* atau *incubation time*, biasanya sedikit lebih lama dari *incubation time* hasil uji tabung karena pertumbuhan di dalam media berpori sedikit lebih lambat.

Prosedur uji *coreflooding* adalah sebagai berikut:

1. Pertama tama *preserve core* dimasukkan kedalam *coreholder* dan diletakkan di dalam oven pemanas pada suhu dan tekanan reservoir.
2. Kemudian, diinjeksikan air formasi steril ke dalam *core* beberapa volume pori dengan laju aliran seperti aliran di dalam reservoir 0,24 cc/menit dan diukur permeabilitasnya.

3. Selanjutnya nutrisi diinjeksikan ke dalam *core* (0,25, 0,50, 0,75 VP) tergantung skenario yang dipilih
4. Dilanjutkan *shut-in* period 7 s-d 14 hari tergantung dari hasil kurva laju pertumbuhan mikroba.
5. Setelah selesai *shut-in* maka dilakukan uji permeabilitas dengan air formasi. Apabila terjadi PRF yang besar (mendekati 100%) maka disimpulkan terjadi pembentukan biofilm yang sangat baik
6. Untuk menguji ketahanan dan stabilitas biofilm, maka dilakukan uji *shear rate* dengan laju injeksi dinaikkan secara gradual sampai 10x
7. Setelah selesai, *core holder* diletakkan di oven, dan dilakukan uji permeabilitas pada setiap interval waktu (3 bulan) selama 1 tahun sampai dengan 2 tahun.

Selain uji *coreflooding* tadi dilakukan juga uji kontrol (*control test*), dimana pada uji kontrol ini dilakukan pengukuran permeabilitas pada *core* yang relatif sama dan tidak diinjeksikan nutrisi, hanya air formasi saja.

B. Hasil Uji Coreflooding

Pada studi ini ditunjukkan hasil dari *coreflooding* yang menggunakan skenario injeksi nutrisi kontinu. Skenario ini menggambarkan suatu proses yang terjadi di sekitar lubang sumur, yang akan dilewati oleh nutrisi yang diinjeksikan secara kontinu sepanjang waktu injeksi. Di samping itu disajikan juga hasil uji kontrol pada batuan dan fluida yang sama.

Uji kontrol dilakukan bersamaan dengan MPM test, dimana pada uji kontrol diamati terjadinya perubahan permeabilitas yang disebabkan selain bioproduk, akan tetapi yang disebabkan oleh pengembangan lempung atau migrasi butiran halus. Prosedur percobaan pada uji kontrol ini sama dengan *coreflooding*, dan hasil uji nya disajikan pada Tabel 1. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa harga permeabilitas air konstan dari awal sampai dengan akhir percobaan, yaitu 61,22 mD, menunjukkan bahwa selama percobaan tidak terjadi penurunan permeabilitas.

Sedangkan hasil uji injeksi nutrisi kontinu tertera pada Tabel 2, di mana pada kondisi awal batu inti mempunyai permeabilitas 211,32 mD. Setelah diinjeksikan nutrisi secara kontinu perubahan permeabilitas secara nyata terjadi pada 1,619 PVI (*pore volume injected*) dengan harga PRF 26,67%. Kemudian kenaikan harga PRF terus berlangsung secara gradual, yaitu pada 5,73 PVI – 45% PRF, 56,29 PVI – 63,33% PRF, 78,71 PVI – 72,5% PRF, 130,021 PVI – 81,67% PRF, dan 182,08 PVI – 96,94% PRF.

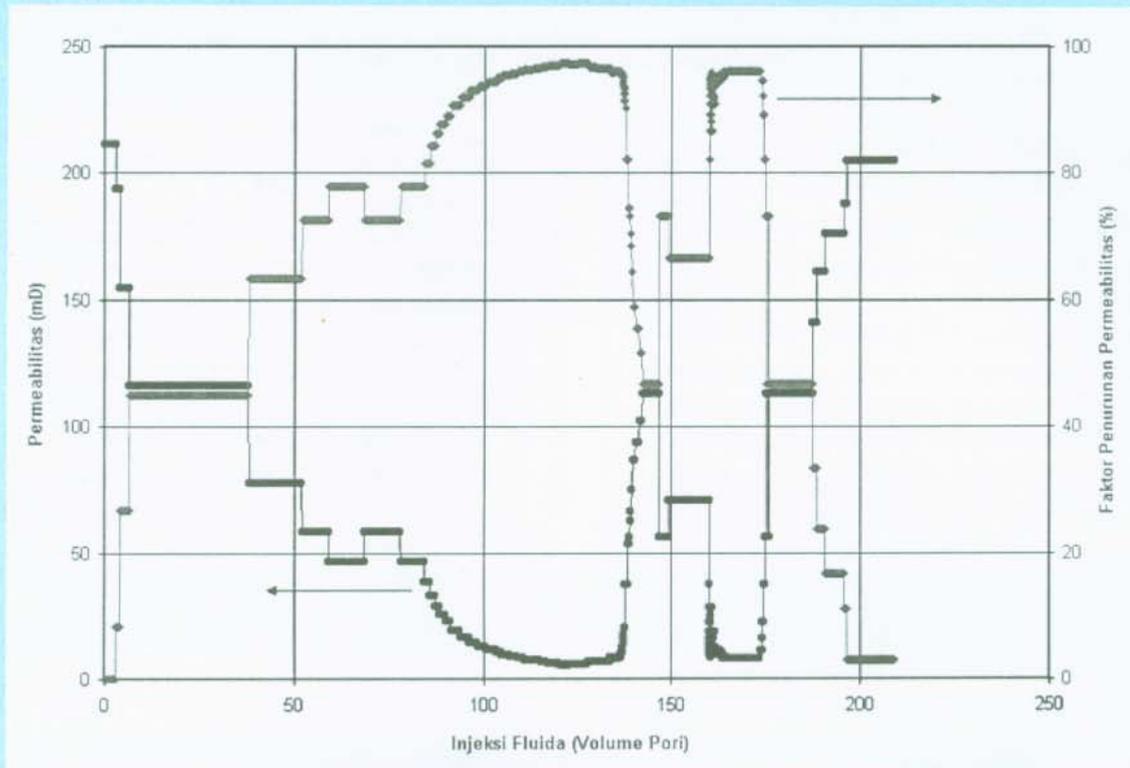
Uji stabilitas bioproduk dilaksanakan dengan cara menaikkan laju injeksi, kenaikan laju injeksi sampai 5x terjadi hanya sedikit penurunan harga PRF menjadi 96,67%. Namun setelah *shear rate* dinaikkan menjadi 10x

Tabel 1
Hasil Microbial Coreffoloding pada uji kontrol

No.	Fluida injeksi	Laju Injeksi cc/menit	Permeabilitas Rata-rata Kw (md)	PRF (%)	Analisis Effuen		Keterangan
					Pop. Mikroba cell/cc	pH	
1	Brine steril	0,2414	61,22	0	1,45E+04	8,74	Laju injeksi normal
2	Brine steril	0,4828	61,22	0	1,80E+02	8,22	laju injeksi 2X
3	Brine steril	0,7242	61,22	0	3,30E+04	8,66	laju injeksi 3X
4	Brine steril	0,2414	61,22	0	3,60E+02	8,75	Laju injeksi normal
5	Brine steril	0,2414	61,22	0	7,00E+04	8,69	Laju injeksi normal
6	Brine steril	0,2414	61,22	0	1,73E+03	8,82	Laju injeksi normal
7	Brine steril	0,4828	61,22	0	4,50E+03	8,96	laju injeksi 2X
8	Brine steril	0,4828	61,22	0	4,00E+04	8,74	Shut-in 1 bulan
9	Brine steril	0,2414	61,22	0	7,93E+04	7,93	Paska injeksi brine

Tabel 2
Hasil Microbial Coreffoloding injeksi nutrisi kontinu

No.	Fluida injeksi	Laju Injeksi cc/menit	Volume Fluida Injeksi (VP)	Permeabilitas Rata-rata Kw (md)	PRF (%)	Analisis Efluen		Keterangan
						Pop. Mikroba cell/cc	pH	
1	Brine steril	0,2414	1,183	211,315	0	7,80E+02	8,40	Laju injeksi normal
2	Brine steril	0,4828	1,806	211,315	0	1,70E+02	7,76	laju injeksi 2X
3	Brine steril	0,7242	1,494	211,315	0	1,30E+02	7,84	laju injeksi 3X
4	Nutrisi	0,2414	183,823	6,457	96,94	2,00E+02	7,83	Injeksi Nutrisi
5	Brine steril	0,2414	10,15	5,932	97,19	1,15E+04	5,66	- Kontinu
6	Brine steril	0,4828	4,868	5,635	97,33	9,20E+02	5,54	uji stabilitas biofilm
7	Brine steril	12,070	9,465	7,044	96,67	na	na	uji stabilitas biofilm
8	Brine steril	24,140	17,559	112,701	46,67	na	na	uji stabilitas biofilm
9	Brine steril	0,2414	3,238	112,701	46,67	na	na	Laju injeksi normal
Shut-in 1 bulan								
10	Brine steril	0,2414	20,77	70,438	66,67	na	na	Injeksi brine
Shut-in 2 bulan								
11	Brine steril	0,2414	21,79	8,050	96,19	na	na	Injeksi brine
Shut-in 3 bulan								
12	Brine steril	0,2414	20,24	112,70	46,67	na	na	Injeksi brine
Shut-in 3 bulan								
13	Brine steril	0,2414	15,13	176,096	16,67	na	na	Injeksi brine
Shut-in 3 bulan								
14	Brine steril	0,2414	21,30	204,912	3,03	na	na	Injeksi brine



Gambar 1
Permeabilitas pada injeksi nutrisi kontinu

maka harga PRF turun drastis menjadi 46,67%. Percobaan dilanjutkan untuk *shut-in* selama 1 bulan, 2 bulan, 3 bulan sampai satu tahun. Pada 3 bulan pertama waktu *shut-in*, PRF mengalami perbaikan sampai 96,19%, dan setelah itu turun terus menerus menjadi 3,03% selama waktu *shut in* genap 1 tahun. Proses ini secara grafis dilukiskan pada Gambar 1, di mana dapat dilihat proses naik turunnya harga permeabilitas dan PRF.

V. KESIMPULAN

1. Uji kontrol menunjukkan harga permeabilitas yang konstan, berarti tidak ada perubahan permeabilitas yang disebabkan oleh pengembangan lempung maupun migrasi butiran halus.
2. Uji *Coreflooding* dengan rancangan injeksi nutrisi kontinu menghasilkan penurunan permeabilitas yang tajam dengan harga PRF 96,94%
3. Stabilitas biopolimer cukup baik pada uji *shear rate* dengan laju injeksi 5x dan terjadi kerusakan pada laju injeksi 10x, di mana PRF turun menjadi 46,47%
4. Stabilitas biopolimer masih cukup baik setelah 6 bulan,

dan kemudian turun setelah kurun waktu satu tahun, PRF menjadi 3,03%

5. Rancangan nutrisi untuk MPM secara laboratorium cukup bagus, layak dilakukan uji lapangan.

KEPUSTAKAAN

1. Stepp, AK., Bryant RS., Llave FM., Lindsey RP., 1995: "Biopolymer System for Permeability Modification in Porous Media", in Bryant and Sublette (Eds) The Fifth International Conference on Microbial Enhanced Oil Recovery and Related Biotechnology for Solving Environmental Problem, Oklahoma, hal. 389-406.
2. Bae, JH., Lee, HO., 1995: "A Study of Microbial Profile Modification" in Bryant and Sublette (Eds) The Fifth International Conference on Microbial Enhanced Oil Recovery and Related Biotechnology for Solving Environmental Problem, Oklahoma, hal. 375-388.
3. Sarkar, AK., Sharma, MM., Georgiou, G., 1995 : "Strength and Stability of Microbial Plugs in Porous Media" in Bryant and Sublette (Eds) The Fifth Inter-

- national Conference on Microbial Enhanced Oil Recovery and Related Biotechnology for Solving Environmental Problem, Oklahoma, hal. 213-234.
4. Jenneman, GE., Clark, JB., Wood, WA., Stevens., JC., Tankersley, C., 1995 "Development and Application of Microbial Selective Plugging Processes" in Bryant and Sublette (Eds) The Fifth International Conference on Microbial Enhanced Oil Recovery and Related Biotechnology for Solving Environmental Problem, Oklahoma, hal. 7-27.
 5. Jenneman, GE., Moffitt, PD., Young, GR., 1994 "Application of a Microbial Selective Plugging Process at The North Burbank Unit: Prepilot Tests and Results" Paper SPE/DOE 27827 dipresentasikan pada SPE/DOE Ninth Symposium on Improve Oil Recovery, Tulsa, Oklahoma, April 17-20.
 6. Vadie, A., Stephens, J., and Brown, L., 1996 "Utilization of Indigenous Microflora in Permeability Profile Modification of Oil Bearing Formations", SPE/DOE 35448, presented at the Tenth Symposium on Improved Oil Recovery(IOR), May April 21- 24, Tulsa OK.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Dr. Ir. Sri Kadarwati atas segala bantuannya, sehingga dapat tersajikannya tulisan ini. •