

**KARAKTERISASI HETEROGENITAS RESERVOIR LAPANGAN X  
DENGAN *DYNAMIC LORENZ COEFFICIENT*****CHARACTERIZING RESERVOIR HETEROGENEITY OF FIELD X  
WITH DYNAMIC LORENZ COEFFICIENT****IRA HERAWATI****Jurusan Teknik Perminyakan Fakultas Teknik Universitas Islam Riau  
Jalan Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru 28284  
[iraherawati.amrul@yahoo.com](mailto:iraherawati.amrul@yahoo.com)**

---

**Abstrak**

Pada proses injeksi air (*secondary recovery*) dimana air berfungsi mendorong minyak ke sumur produksi, distribusi air akan dipengaruhi oleh sifat heterogenitas suatu reservoir. Distribusi pendesak air sulit untuk dideteksi karena air cenderung untuk mengalir di zona-zona yang berpermeabilitas tinggi. Oleh karena itu dalam rangka pengukuran heterogenitas reservoir pada tahap injeksi air, penting untuk mempertimbangkan pengaruh geometri aliran yang disebabkan oleh sifat dinamika batuan. Studi ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi heterogenitas reservoir dengan injeksi air di Lapangan X. Proses pengukuran derajat heterogenitas menggunakan metode Lorenz coefficient dinamis (*dynamic Lorenz coefficient*) yang merupakan pengembangan dari parameter Lorenz coefficient. Sifat dinamis injeksi air yang meliputi geometri aliran injeksi dianalisis dengan menggunakan *streamline*. Informasi yang didapat dari simulasi *streamline* berupa laju alir injeksi dan *time of flight* (TOF) *streamline* akan menjadi dasar perhitungan volume pori yang tersapu oleh air injeksi. Sehingga nilai *flow capacity* dan *storage capacity* ( $F - \Phi$ ) untuk masing-masing region dapat dihitung. Selanjutnya derajat heterogenitas reservoir dihitung dengan persamaan Lorenz.

**Kata kunci :** Heterogenitas, Lorenz coefficient dinamis, *streamline*, *flow capacity-storage capacity* ( $F - \Phi$ )

**Abstract**

In water injection processes, where water displaces oil, the resulting water distribution depends on the heterogeneity of the reservoir. However, it is often difficult to establish the water distribution although the water tends to flow through the higher-permeability layers. The resulting water distribution indeed relates to the rock-related dynamic behavior of water. Thus, during water injection, the reservoir rock heterogeneity measures and the effects of flow geometry consideration to water distribution are very important. This thesis is aimed to characterize the reservoir heterogeneity of Field X under water injection. The heterogeneity measures were determined using dynamic Lorenz coefficient, an extended parameter of the previously known Lorenz coefficient. The dynamic behavior of water including its flow geometry was analyzed using streamlines properties. The information obtained from the streamline simulator including injection flow rates and time of flight (TOF) of the streamlines was used to calculate the pore volumes swept by the injected water. As a result, the flow capacity and storage capacity of the region studied could be determined. The reservoir heterogeneity measures were then calculated by applying Lorenz's equation.

**Key words:** heterogeneity, Dynamic Lorenz coefficient, streamlines, *flow capacity-storage capacity* ( $F - \Phi$ )

---

**I. PENDAHULUAN**

Heterogenitas reservoir didefinisikan sebagai variasi sifat-sifat reservoir dalam dimensi ruang. Idealnya, jika reservoir bersifat homogen, maka pengukuran sifat reservoir di setiap

lokasi akan terdeskripsi dengan tepat. Tetapi hampir tidak ada satu reservoir pun yang berkelakuan seperti itu. Sebaliknya sifat heterogenitas hampir selalu terdapat pada semua reservoir .

Pada prinsipnya heterogenitas suatu reservoir memiliki pengaruh terhadap kinerja reservoir. Untuk itu pengukuran tingkat heterogenitas suatu reservoir menjadi salah satu hal penting. Hal ini untuk membantu mempertimbangkan keputusan-keputusan yang akan diambil dalam proses perencanaan maupun pengembangan suatu lapangan minyak.

Shook (2005)<sup>19</sup> mengembangkan perhitungan Lorenz coefficient untuk menentukan derajat heterogenitas reservoir yang mempertimbangkan sifat dinamis injeksi air. Konsep ini dikembangkan dengan menggunakan simulasi streamline untuk menentukan distribusi injeksi dan geometri aliran fluida. Simulasi streamline ini akan memberikan informasi laju volumetrik aliran dan *time of flight* (TOF) streamline. Dengan mengetahui distribusi aliran yang tersebar di sepanjang jalur-jalur yang dilaluinya, heterogenitas dihitung berdasarkan persamaan Lorenz coefficient. Parameter ini dikenal sebagai Lorenz coefficient dinamis (*Dynamic Lorenz coefficient*).

Dengan mengaplikasikan metode ini pada model reservoir yang dibangun atas dasar ketidakpastian data, diharapkan pengukuran heterogenitas reservoir menjadi lebih akurat. Sehingga memberikan manfaat yang baik dalam pengembangan lapangan dengan sistem injeksi air.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan karakterisasi/pengukuran heterogenitas reservoir Lapangan-X yang mempertimbangkan sifat dinamis injeksi air dan perhitungan sweep efficiency di reservoir tersebut, dengan menggunakan parameter Lorenz coefficient dinamis. Penelitian ini dibatasi pada analisis pengaruh sifat dinamis reservoir dengan injeksi air pola lima titik terbalik dengan menggunakan software GOCAD dan simulator Frontsim.

## **II. METODE PENELITIAN**

Metode yang dilakukan pada penelitian ini meliputi kegiatan terstruktur mulai dari melakukan studi literature, mempersiapkan data dan model reservoir, pembuatan pola-pola *inverted five spot* tiruan dan mengelompokan sumur injeksi dan sumur produksi, melakukan aplikasi metode dengan software GOCAD dan simulator Frontsim untuk mengetahui streamline, dan melakukan pemetaan Lorenz coefficient untuk melihat heterogenitas Lapangan X, untuk selanjutnya dilakukan analisis dan evaluasi hasil studi yang dilakukan.

### **Lokasi Penelitian**

Lapangan X merupakan salah satu lapangan minyak yang termasuk dalam area yang dikelola oleh PT. Chevron Pacific Indonesia Distrik Minas. Lapangan X berlokasi sekitar 40 km sebelah barat dari lapangan minyak utama Minas atau kurang lebih 70 km sebelah barat laut kota Pekanbaru. Lapangan ini berada pada Cekungan Sumatera tengah yaitu pada Blok Rokan PSC dan sebagian kecil pada Blok Siak PSC.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Aplikasi Software GOCAD

Proses penentuan Lorenz coefficient dinamis pada studi ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi yang terdapat di dalam software GOCAD. Software GOCAD yang digunakan merupakan versi terbaru (2010) yang dilengkapi kemampuan untuk menentukan heterogenitas suatu reservoir. Dalam studi ini GOCAD digunakan untuk menentukan heterogenitas reservoir Lapangan X dengan metode Lorenz coefficient dinamis. Data untuk *input workflow* GOCAD dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data untuk *input workflow* GOCAD

Kompleksi sumur produksi	1:39
Kompleksi sumur injeksi	1:39
Maksimum liquid di sumur produksi	10000 bbl/day
Maksimum air yang diinjeksikan	10000 bwi/day
Minimum BHP sumur produksi	500 psia
Maksimum BHP sumur injeksi	1000 psia
Referensi kedalaman	2000 ft
Referensi tekanan	800 psia
Oil Water Contac	4747 ft
Lama time step	120 hari
Jumlah time step	4

#### Penentuan *Streamline* dengan Simulator FrontSim

Simulator yang digunakan untuk menentukan *streamline* dalam pelaksanaan studi ini adalah FrontSim. Simulator ini merupakan simulator reservoir multiguna. Dapat digunakan untuk menjalankan proses simulasi black-oil, maupun simulasi dengan tujuan khusus, seperti model reservoir 3D *irregular* (tidak beraturan) dan kesalahan grid, compressibilitas, perubahan *well control*, dan *gravity segregation* seperti pada sumur multi komponen,

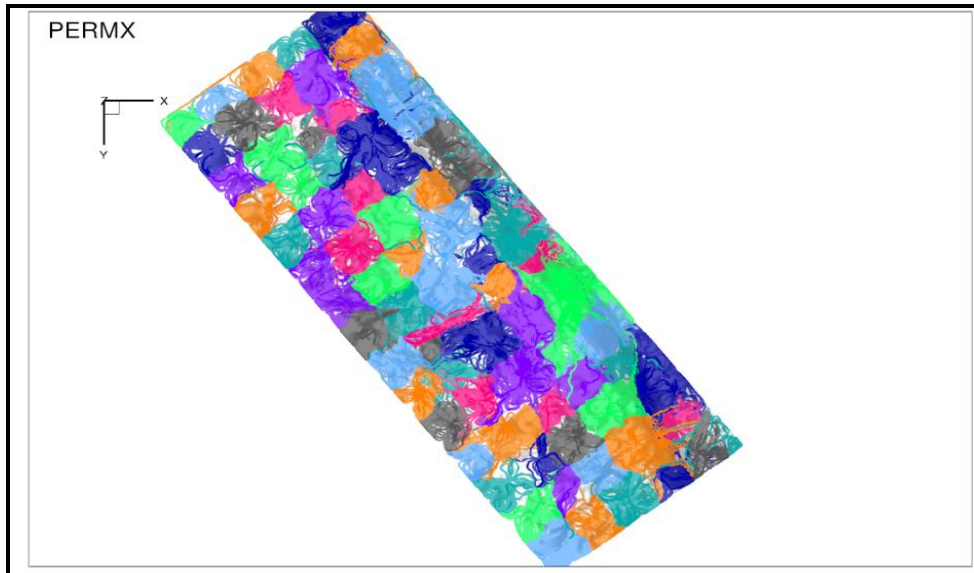
*multiphase flow*. Properties reservoir yang diinputkan untuk menentukan *streamline* dengan simulator FrontSim dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik dan propertis reservoir untuk simulasi *streamline*

Properties	Nilai	Satuan
Kedalaman reservoir	2000	ft
Gravity minyak	0.865	°API
Tekanan reservoir	800	Psia
Temperatur reservoir	265	°F
Viskositas minyak pada Pb	2.41	Cp
Kompresibilitas minyak	$0.387 \times 10^{-4}$	psi <sup>-1</sup>
Viskositas air	0.3	Cp
Kompresibilitas air	$0.36 \times 10^{-5}$	psia <sup>-1</sup>
Densitas air	0.937	gr/cc
Compresibilitas batuan	$3.6 \times 10^{-6}$	psia <sup>-1</sup>
Faktor volume formasi minyak pada Pb	1.1395	RB/STB
Faktor volume formasi air	1.035	RB/STB
Oil water Contac	4747	Ft

*Running* FrontSim dilakukan dalam empat time step dengan mengatur waktu *time step* selama 120 hari. Hal ini dengan pertimbangan agar injeksi mempunyai waktu yang cukup dari kondisi *transient* menuju kondisi *steady state*. Setelah keempat time step terpenuhi maka *run* akan berhenti dan FrontSim menghasilkan *output* laju alir volumetrik dan *time of flight* (TOF). File yang dikeluarkan oleh FrontSim berupa file *binnary streamline*. file ini akan dikonversi oleh GOCAD dalam file ASCII sehingga dapat dibaca hasil keluarannya.

Informasi yang didapat dari file yang dikeluarkan oleh FrontSim akan memberikan gambaran geometri aliran di model reservoir yang diberikan, seperti terlihat pada gambar 1. Gambar tersebut menunjukkan *streamline* aliran injeksi ke masing-masing sumur produksi di seluruh *pseudo five spot pattern* model reservoir.



Gambar 1. *Streamline* aliran injeksi di model reservoir Lapangan X

TOF, panjang *flowpath* dan luas dari geometri aliran itu sendiri menjadi sesuatu yang diukur secara komprehensif. Setiap distribusi *streamline* merupakan fungsi waktu dan panjang *streamline* yang menggambarkan geometri aliran. Semakin panjang dan banyak *streamline* yang mengalir dari injeksi ke produksi semakin besar TOF yang dibutuhkan.

Dengan perhitungan ini maka diperoleh TOF untuk masing-masing *streamline* yang berasal dari masing-masing laju injeksi air ( $q_i$ ). Dengan mengetahui laju alir,  $q_i$ , dan TOF,  $\tau_i$ , maka volume pori untuk masing-masing *streamline*,  $V_{pi}$ , juga bisa dihitung.

### **Alokasi Injeksi pada Sumur-Sumur Produksi**

Hasil simulasi *streamline* berupa informasi laju alir volumetrik dan TOF dari proses *running* FrontSim, akan dikonversi oleh GOCAD dalam bentuk file ASCII. Konversi ini akan menghasilkan data alokasi injeksi ke masing-masing produksi. Dalam proses GOCAD *time step* akan dilaporkan dalam 7 alokasi sampai proses berada pada kondisi *steady state*. Dan laporan alokasi yang digunakan untuk perhitungan Lorenz coefficient dinamis adalah alokasi step ke tujuh. Laporan alokasi ini berguna untuk melihat berapa laju alir masing-masing sumur injeksi dan volume pori yang dilalui *streamline*.

Dari hasil simulasi *streamline* yang diperoleh, diketahui bahwa total volume pori yang dikunjungi oleh *streamline* adalah  $= 1,50003 \times 10^8$  RB. Sedangkan total volume pori yang tidak dikunjungi oleh *streamline* adalah  $= 1,57835 \times 10^8$  RB. Total volume pori di model reservoir adalah  $3,07377 \times 10^8$  RB. Jadi volume pori yang tidak dikunjungi oleh *streamline* adalah sebesar 50,69%. Masing-masing *streamline* mempunyai TOF dan panjang *streamline* yang berbeda-beda.

## Fraksi Alokasi Injeksi

GOCAD juga mengeluarkan informasi fraksi alokasi injeksi. Harga ini merupakan fraksi dari alokasi injeksi untuk seluruh sumur produksi yang diinjeksi. Tabel Fraksi alokasi injeksi pada model reservoir dapat dilihat pada Tabel 3. Fraksi alokasi yang ditampilkan dalam tabel tersebut hanya untuk sebagian sumur injeksi saja. Nilai fraksi alokasi injeksi ini merupakan deskripsi dari persentase injeksi yang terdistribusi ke sumur-sumur produksi.

## Total Volume Pori *Streamline* ( $V_p$ ) dan Laju Alir Injeksi ( $Q$ )

Dari aplikasi metode menggunakan GOCAD diperoleh hasil perhitungan total Volume pori dan Laju injeksi yang dilewati oleh seluruh *streamline*, untuk masing-masing region yang diwakili oleh sumur-sumur injeksi (seperti terlihat pada Tabel 4). Perhitungan  $V_p$  total yang terdapat di Tabel 4 adalah volume pori *streamline* pada kondisi  $i$  ( $V_{p_i}$ ) yang merupakan fungsi dari laju alir volumetrik untuk *streamline*  $i$  ( $q_i$ ) dan time of flight,  $\tau_i$  pada kondisi  $i$ .

Dari sini dapat difahami bahwa volume pori yang diperoleh dari data keluaran GOCAD adalah total volume yang dilalui *streamline* dari satu sumur injeksi ke sumur-sumur produksi yang dituju. Semakin besar laju injeksi yang mengalir semakin banyak jumlah *streamline* yang dikeluarkan pada region tersebut. Secara umum semakin besar pula volume pori yang tersapu pada region tersebut. Masing-masing *streamline* memiliki *flowpath* dan TOF yang berbeda. Laju injeksi ( $Q$ ) yang diperoleh dari analisis *streamline* oleh software GOCAD adalah representasi dari permeabilitas dengan geometri aliran yang dilalui oleh *streamline*.

Pada Tabel 4 juga terlihat fraksi volume pori yang tersapu terhadap volume pori total di masing-masing region ( $V_s/V_p$ ). Disini terlihat  $V_s/V_p$  dihitung dalam waktu tak berdimensi (*dimensionless time*). Dalam hal ini GOCAD mencatat laporan volume pori injeksi pada saat *dimensionless time* berada pada kondisi satu volume pori injeksi (1PVI) dan dua volume pori injeksi (2PVI).

Tabel 3. Fraksi  $V_p$  total dan  $Q$  total *streamline* masing-masing region injeksi

Sumur injeksi	Sumur produksi	Fraksi $V_p$	Fraksi $Q$
INJ70	PRD78	0.0585	0.0092
INJ70	PRD83	0.0098	0.0066
INJ70	PRD84	0.4363	0.3236
INJ70	PRD90	0.4954	0.6606
INJ65	PRD60	0.0225	0.0102
INJ65	PRD66	0.0448	0.0061
INJ65	PRD72	0.1879	0.0862
INJ65	PRD77	0.0147	0.0222
INJ65	PRD78	0.4728	0.4835
INJ65	PRD83	0.0413	0.0403
INJ65	PRD84	0.216	0.3515

INJ62	PRD74	0.2446	0.2647
INJ62	PRD75	0.3546	0.2625
INJ62	PRD80	0.2175	0.2832
INJ62	PRD81	0.1832	0.1896
INJ61	PRD73	0.4014	0.3145
INJ61	PRD74	0.1629	0.1225
INJ61	PRD79	0.3805	0.5018
INJ61	PRD80	0.0552	0.0612
INJ59	PRD60	0.0032	0
INJ59	PRD64	0.0773	0.0813
INJ59	PRD65	0.0566	0.0218
INJ59	PRD66	0.0099	0
INJ59	PRD69	0.0597	0.025
INJ59	PRD70	0.243	0.2581
INJ59	PRD71	0.1132	0.1812
INJ59	PRD72	0.1318	0.0246
INJ59	PRD75	0.0011	0
INJ59	PRD76	0.1946	0.2188
INJ59	PRD77	0.0949	0.189
INJ59	PRD78	0.0148	0.0003
INJ58	PRD69	0.4367	0.5873
INJ58	PRD70	0.0881	0.0789
INJ58	PRD75	0.3696	0.2238
INJ58	PRD76	0.1056	0.11
~			
~			
INJ05	PRD05	0.024	0.0502
INJ05	PRD06	0.7073	0.6169
INJ05	PRD12	0.2687	0.3329

Tabel 4. Hasil perhitungan GOCAD untuk Q, jumlah *streamline*, Vp dan Vs/Vp

Region	Total laju alir injeksi (Q), RB/hari	Jumlah <i>Streamline</i>	Total volume pori <i>Streamline</i> (Vp), RB	Vs/Vp @tD1	Vs/Vp @tD2
INJ67	1720	1023	1.71E+06	0.433	0.4847
INJ66	1289	737	1.13E+06	0.3585	0.4061
INJ70	1402	696	2.53E+06	0.4446	0.4958
INJ65	1563	1011	4.53E+06	0.3984	0.4658
INJ62	1717	981	1.68E+06	0.3886	0.4385
INJ64	855.7	484	1.02E+06	0.4824	0.5444
INJ63	296.1	252	4.36E+05	0.3838	0.4496
INJ61	575.2	388	8.35E+05	0.4138	0.4832
INJ59	6745	2431	4.16E+06	0.444	0.5141
INJ58	1003	512	8.95E+05	0.4472	0.4965
INJ56	935.3	653	1.26E+06	0.4166	0.4823
INJ60	619.6	404	2.30E+06	0.4482	0.543
INJ57	473	321	7.24E+05	0.4044	0.4855
INJ52	2741	964	1.59E+06	0.455	0.5057
INJ53	7202	1806	2.16E+06	0.5505	0.6093
INJ55	654.4	470	2.69E+06	0.409	0.4823
INJ54	197.4	206	5.07E+05	0.4216	0.5117
INJ51	784.8	546	1.04E+06	0.4165	0.4892

INJ50	1232	610	3.18E+06	0.4255	0.492
INJ49	1569	886	1.40E+06	0.4811	0.5186
INJ48	7550	2145	2.69E+06	0.4982	0.5733
INJ44	1989	931	1.92E+06	0.4497	0.5128
INJ46	663.9	423	9.19E+05	0.4483	0.501
INJ47	3580	1368	1.68E+06	0.4829	0.5258
INJ45	234.2	239	1.14E+06	0.4154	0.5297
INJ40	9008	2464	5.32E+06	0.4294	0.5077
INJ43	2190	828	1.15E+06	0.499	0.541
INJ38	4990	2090	4.58E+06	0.4611	0.5128
INJ42	1.43E+04	2529	1.74E+06	0.4421	0.5658
INJ41	2815	904	1.08E+06	0.438	0.4826
INJ35	2875	883	2.27E+06	0.4387	0.5149
INJ36	5402	1615	2.67E+06	0.4892	0.5537
INJ39	927.3	445	1.03E+06	0.4704	0.5153
INJ37	4512	1006	1.19E+06	0.4114	0.5252
INJ30	2.32E+04	5016	8.82E+06	0.4252	0.4892
INJ34	3157	861	1.38E+06	0.5494	0.6108
INJ31	1240	625	1.45E+06	0.4426	0.5284
INJ29	1.62E+04	2865	3.72E+06	0.5351	0.6512
INJ33	454.4	266	7.02E+05	0.4457	0.5169
INJ28	4076	1701	3.47E+06	0.4898	0.5303

## F – $\Phi$ dan Efisiensi Penyapuan Volumetrik

Penentuan F- $\Phi$  merupakan salah satu tujuan utama dari aplikasi metode dilakukan. Dengan mengetahui F- $\Phi$  yang diperoleh dari analisis *streamline* menggunakan software GOCAD, maka Lorenz coefficient dinamis dapat ditentukan. Dari data F- $\Phi$  yang diperoleh untuk masing-masing region injeksi, perhitungan Lc dapat dilakukan.

GOCAD juga menghasilkan nilai sejarah efisiensi penyapuan volumetrik untuk masing-masing region yang diwakili oleh satu sumur injeksi. Perhitungan efisiensi penyapuan volumetrik dapat diperoleh langsung dari harga F- $\Phi$  yang telah diketahui. Dengan menggunakan data tersebut efisiensi penyapuan volumetrik dapat dihitung.

Untuk setiap Tabel F –  $\Phi$  dan efisiensi penyapuan volumetrik yang ditampilkan dalam keluaran GOCAD merupakan harga F –  $\Phi$  dan efisiensi penyapuan volumetrik masing-masing region injeksi. Tabel 5 menunjukkan nilai F –  $\Phi$  dan efisiensi penyapuan untuk INJ02.



Tabel 5. Nilai F – Φ dan Efisiensi penyapuan untuk INJ02

PHI (Φ)	F (flow Capacity)	Dimension Less Time(t <sub>D</sub> )	Sweep Efisiensi
0	0	0	0
0.0007	0.0089	0.0821	0.0817
0.0122	0.1153	0.1327	0.129
0.0272	0.2193	0.1548	0.1474
0.0454	0.3249	0.1829	0.168
0.0659	0.4303	0.2033	0.1808
0.088	0.5285	0.2517	0.2056
0.115	0.6263	0.2942	0.2237
0.1409	0.707	0.3464	0.2409
0.1824	0.8106	0.4367	0.2633
0.2083	0.8596	0.6487	0.2972
0.2304	0.8876	0.8678	0.3256
0.2636	0.9213	1.2189	0.3566
0.2902	0.9371	1.8788	0.4049
0.3137	0.9481	2.3325	0.4311
0.3428	0.9592	2.9596	0.4594
0.5173	0.9889	12.2345	0.6481
0.5298	0.9898	13.3747	0.6604
0.5432	0.9907	15.9134	0.6856
0.5615	0.9918	16.9061	0.6942
0.5729	0.9925	18.5535	0.707
0.5909	0.9934	21.8541	0.7301
0.6034	0.9939	23.5231	0.7405

Dalam aplikasi GOCAD, F-Φ dihitung berdasarkan geometri aliran yang digambarkan oleh *streamline*. Setiap *streamline* yang berasal dari suatu sumur injeksi mempunyai panjang dan waktu yang beragam. Misalnya pada INJ02 jumlah *streamline* yang tercatat oleh GOCAD adalah 591 *streamline*. Ini artinya pada 39 lapisan reservoir dalam model reservoir yang dianalisis terjadi 591 aliran ke sumur-sumur produksi yang dilaluinya (PRD08, PRD07, PRD01, PRD02).

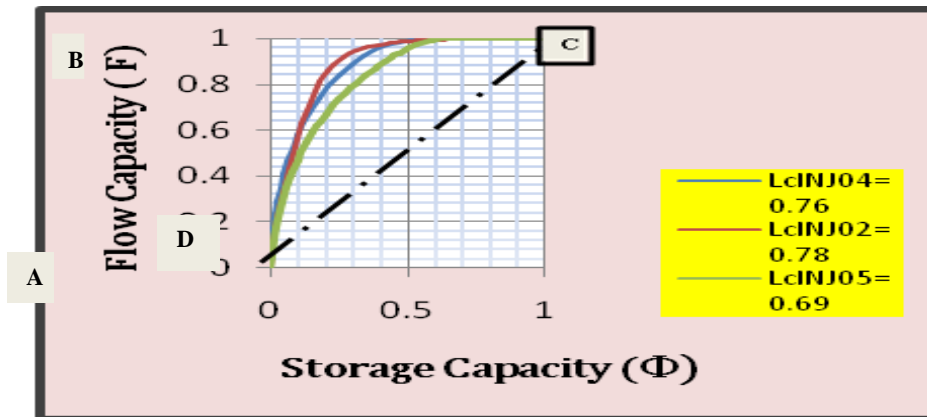
Perhitungan Lorenz coefficient dapat dilakukan menggunakan plot F-Φ (seperti terlihat pada gambar 2. Untuk satu region (misalnya INJ02) diperoleh nilai Lc = 0,78 yang merupakan representasi dari luas area kurva F-Φ (area ABCA) dibagi dengan luas area dibawah garis 45° (area ADCA). Luas area ABCA untuk masing-masing region injeksi dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{Luas area ABCA} = \int_0^1 F \cdot d\phi - 0.5$$

Dengan menggunakan persamaan di atas diperoleh luas area ABCA masing-masing region, yakni INJ02 = 0,40, INJ04 = 0,39 dan INJ05 = 0,35. Dari perhitungan ini terlihat bahwa semakin luas area kurva F-Φ, semakin besar nilai Lc dan semakin heterogen suatu reservoir. Sejarah efisiensi penyapuan volumetrik untuk masing-masing region injeksi dapat

ditentukan langsung dari data hasil perhitungan  $F-\Phi$  seperti terlihat pada Tabel 5. Dari tabel tersebut dapat dibuat kurva sejarah efisiensi penyapuan terhadap waktu tak berdimensi.

Gambar 3 menunjukkan sejarah efisiensi penyapuan pada region INJ02 ( $L_c = 0,78$ ), INJ04 ( $L_c = 0,76$ ) dan INJ05 ( $L_c = 0,69$ ). Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada region yang memiliki nilai  $L_c$  lebih tinggi (INJ02), efisiensi penyapuan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk dapat menyapu seluruh volume pori region.

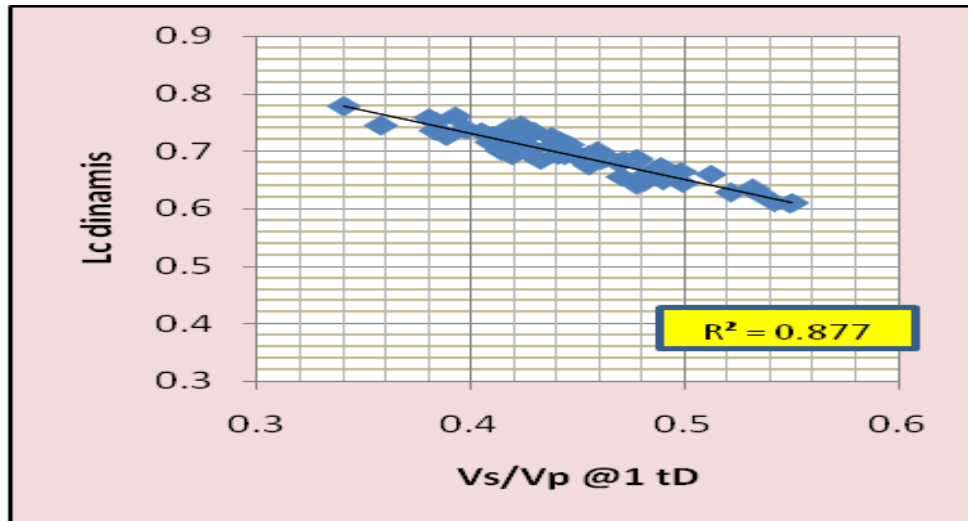


Gambar 2. Plot  $F-\Phi$  (Plot Lorenz Coefficient)

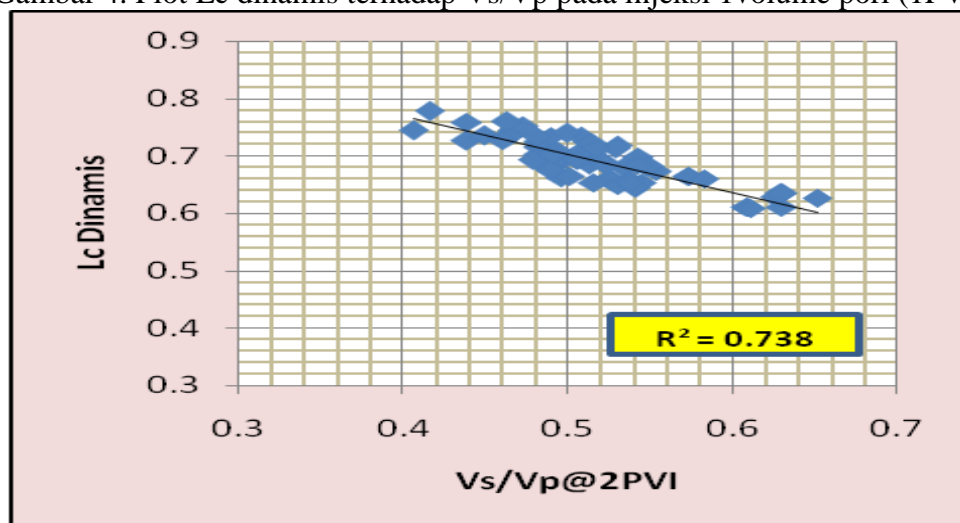


Gambar 3. Plot Efisiensi penyapuan terhadap waktu tak berdimensi ( $t_D$ ).

Gambar 4 dan 5 menunjukkan hubungan nilai  $L_c$  dinamis terhadap kemampuan injeksi untuk menyapu volume pori pada kondisi yang berbeda. Pada gambar tersebut terlihat korelasi yang cukup signifikan antara nilai  $L_c$  dinamis terhadap fraksi  $V_s/V_p$  (volume pori yang tersapu pada waktu tertentu dibanding volume pori total masing-masing region yang tersapu) pada saat *dimensionless time*. Semakin tinggi nilai  $L_c$  dinamis semakin rendah fraksi  $V_s/V_p$ . Pada kondisi injeksi satu volume pori (1PVI) nilai korelasi,  $R^2 = 0,872$ . sedangkan pada kondisi injeksi dua volume pori (2PVI) nilai korelasi  $R^2 = 0,738$ .



Gambar 4. Plot Lc dinamis terhadap Vs/Vp pada injeksi 1 volume pori (1PVI)



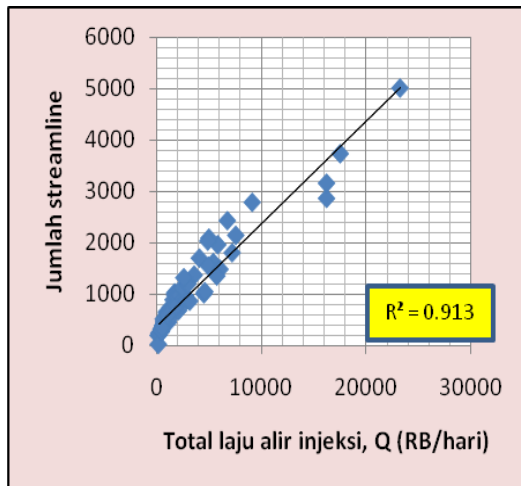
Gambar 5. Plot Lc dinamis terhadap Vs/Vp pada injeksi 2 volume pori (2PVI)

Fakta ini juga memberikan alasan mengapa pengukuran derajat heterogenitas reservoir perlu dilakukan. Dengan mengetahui nilai Lc dinamis reservoir dapat membantu dalam penempatan sumur-sumur injeksi. Dimana semakin kecil harga Lc dinamis semakin baik efisiensi penyapuannya dan semakin besar fraksi volume penyapuannya. Hal ini tentunya juga diimbangi dengan pertimbangan-pertimbangan lainnya.

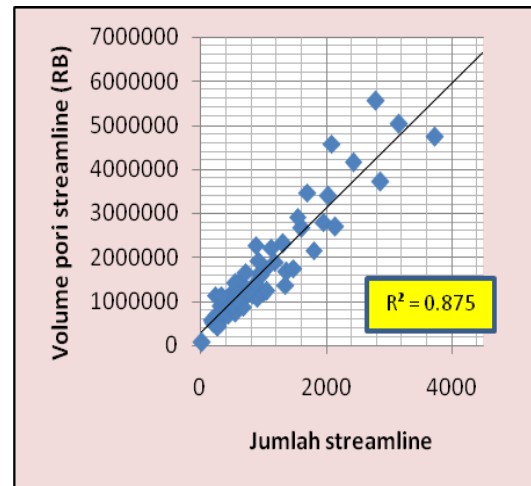
### **Hubungan Jumlah *Streamline*, Laju Alir Injeksi Total (Q) dan Total Volume Pori yang Tersapu (Vp)**

Total volume pori yang tersapu oleh *streamline* adalah fungsi dari laju injeksi total dan TOF masing-masing *streamline*. Semakin tinggi laju alir injeksi maka akan semakin banyak jumlah *streamline* yang terdistribusi. Korelasinya dapat dilihat pada Gambar 6, dengan nilai  $R^2 = 0,913$ . pada Gambar 7 juga terlihat korelasi yang cukup signifikan antara jumlah *streamline* terhadap total volume pori yang tersapu oleh *streamline*, dengan nilai  $R^2 = 0,875$ .

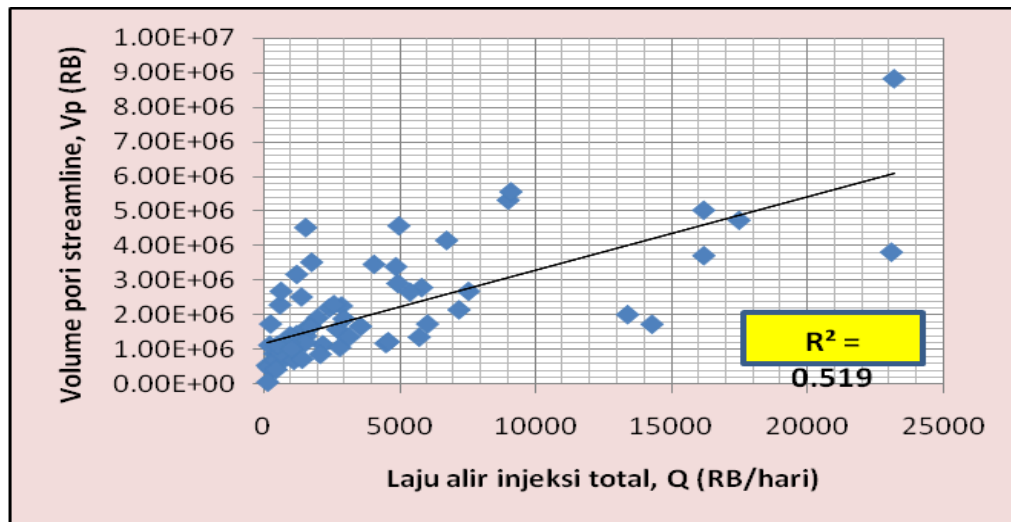
Hubungan antara total volume pori *streamline* ( $V_p$ ) terhadap laju alir injeksi total ( $Q$ ) masing-masing region dapat dilihat pada gambar 8. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa  $V_p$  dan  $Q$  tidak berkorelasi cukup baik, dengan nilai  $R^2 = 0,519$ . Hal ini karena masing-masing *streamline* memiliki panjang dan TOF yang berbeda, sehingga pada perhitungannya peningkatan  $V_p$  tidak hanya dipengaruhi oleh meningkatnya laju alir injeksi saja, namun juga dipengaruhi oleh panjang flowpath dan TOF yang dibutuhkan oleh *streamline* untuk menyapu volume pori.



Gambar 6. Plot Laju alir injeksi total ( $Q$ ) volume terhadap jumlah *streamline*.



Gambar 7. Plot jumlah *streamline* terhadap pori *streamline* ( $V_p$ ).



Gambar 8. Plot laju alir injeksi total ( $Q$ ) terhadap volume pori *streamline* ( $V_p$ ).

### Nilai Lorenz Coefficient Dinamis dan Heterogenitas Reservoir

Nilai  $L_c$  dinamis yang diperoleh untuk satu sumur injeksi adalah nilai heterogenitas untuk satu geometri aliran untuk satu *pattern* di sekitarnya. Jadi untuk 75 *pseudo pattern* akan

menghasilkan 75 nilai Lc dinamis pada model reservoir yang diteliti. Setelah harga  $F - \Phi$  untuk masing-masing sumur injeksi diperoleh, maka nilai Lorenz coefficient dinamis untuk seluruh sumur injeksi dapat ditentukan.

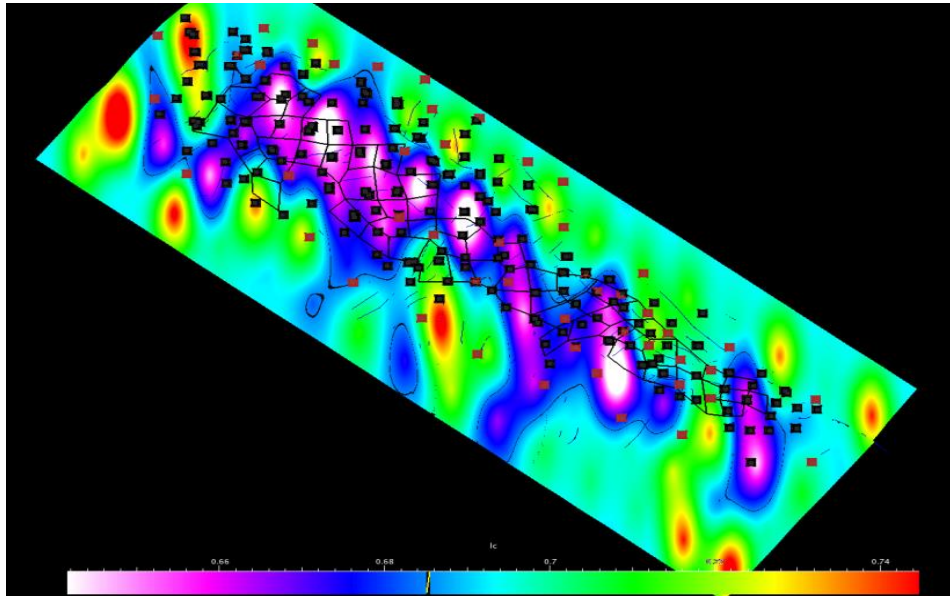
Karakterisasi dilakukan dengan mengukur derajat heterogenitas reservoir. Nilai Lc dinamis diperoleh dari *pseudo inverted five spot pattern* yang disebar di seluruh model reservoir. Dari proses yang telah diterangkan pada bab sebelumnya diperoleh nilai Lc dinamis masing-masing sumur injeksi. Satu sumur injeksi mewakili satu nilai Lc untuk satu *pattern* (satu geometri aliran). Masing-masing region merupakan representasi wilayah Lapangan X.

Dari Tabel 6 terlihat distribusi nilai Lc dinamis mulai dari nilai yang tertinggi sampai terendah berkisar 0,7774 – 0,6086. Semakin tinggi nilai Lc dinamis menunjukkan semakin heterogen reservoir tersebut. Nilai-nilai ini dijadikan acuan untuk membuat peta Lc dinamis model Reservoir X dengan proses krigging. Peta Lc dinamis merupakan gambaran distribusi derajat heterogenitas reservoir di Lapangan X.

Tabel 6. Rangkings heterogenitas *pseudo pattern* di model reservoir

Region	Lc dinamis	Region	Lc dinamis	Region	Lc dinamis
INJ02	0.7774	INJ22	0.7277	INJ56	0.7024
INJ04	0.7603	INJ62	0.7259	INJ16	0.7021
INJ71	0.7588	INJ54	0.7248	INJ59	0.7013
INJ37	0.7562	INJ41	0.7246	INJ61	0.7009
INJ11	0.7505	INJ25	0.7225	INJ72	0.6996
INJ66	0.7449	INJ35	0.7218	INJ60	0.6989
INJ75	0.7444	INJ42	0.7188	INJ70	0.6986
INJ17	0.7397	INJ45	0.7174	INJ58	0.6631
INJ65	0.7376	INJ55	0.7155	INJ13	0.6601
INJ63	0.7348	INJ31	0.7128	INJ47	0.6598
INJ01	0.7341	INJ33	0.7122	INJ18	0.6577
INJ30	0.734	INJ50	0.7117	INJ39	0.6555
INJ40	0.733	INJ73	0.7095		
INJ15	0.7321	INJ51	0.7042		
INJ08	0.7284	INJ10	0.7028		

Gambar 9 menunjukkan peta distribusi Lc dinamis di model reservoir yang dilengkapi dengan seluruh sumur produksi dan sumur injeksi aktual yang terdapat di Lapangan X. Gradasi warna mulai dari yang terkecil sampai yang terbesar digambarkan dengan warna merah muda – oranye. *Path* warna hitam menggambarkan sumur-sumur produksi dan *path* warna merah untuk sumur-sumur injeksi. Pada peta ini terlihat bahwa sumur-sumur produksi dan injeksi menumpuk di daerah struktur puncak (*top structure*) reservoir. Dan distribusi nilai Lc yang relatif rendah juga terdapat di daerah *top* struktur ini.



Gambar 9. Peta distribusi Lc dinamis pada model reservoir X.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang penulis lakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengukuran Lorenz coefficient dinamis diketahui bahwa derajat heterogenitas reservoir di Lapangan X berkisar 0,60 – 0,78, dengan distribusi Lc yang relatif rendah terdapat di daerah top struktur reservoir.
2. Kurva sejarah efisiensi penyapuan volumetrik yang diwakili oleh region INJ02, INJ04 dan INJ05, menunjukkan bahwa semakin tinggi derajat heterogenitas reservoir, semakin rendah efisiensi penyapuan volumetrik injeksi air.
3. Dari perhitungan menggunakan analisis *streamline* dan kurva  $F - \Phi$  didapatkan efisiensi penyapuan volumetrik rata-rata sebesar 45% pada kondisi satu volume pori injeksi (1PVI) dan 52% pada kondisi dua volume pori injeksi (2PVI).
4. Perhitungan yang mempertimbangkan sifat dinamis injeksi air (Lc dinamis) dalam menentukan derajat heterogenitas suatu reservoir lebih realistis dilakukan karena menggambarkan kondisi reservoir sesungguhnya.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- Balin, P.R., R. Solano, K.B. Hird and R.F. Volz, 2002, "New Reservoir Dynamic Connectivity Measurement for Efficient Well Placement Strategy Analysis Under Depletion," 2002, SPE paper 77375, presented at 2002 SPE Annual Technical Conference, San Antonio, Tx., 29 Sept – 2 Oct, 2002.
- Craig, Forest F. Jr, 1971, "The Reservoir Engineering Aspects of Waterflooding", Monograph Series, SPE Dallas, Texas, 63-66.

- Datta-Gupta, A. and M.J. King, 1995, "A semianalytic approach to tracer flow modeling in heterogeneous permeable media," *Advances in Water Resources*, 18 (1995) 9-24.
- Deutsch, C.V. and S. Srinivasan, 1996, "Improved Reservoir Management Through Ranking Stochastic Reservoir Models," SPE paper 35411, presented at the 1996 SPE/DOE Tenth Symposium on Improved Oil Recovery, Tulsa OK, 21-24 April, 1996.
- Hird, K.B. and O. Dubrule, 1998, "*Quantification of Reservoir Connectivity for Reservoir Description Applications*," SPE Reservoir Evaluation and Engineering, February, 1998, pp 12-17.
- Idrobo, E.A., M.K. Choudhary, and A. Datta-Gupta, 2000, "Swept Volume Calculations and Ranking of Geostatistical Reservoir Models Using Streamline Simulation," SPE paper 62557, presented at the 2000 SPE/AAPG Western Regional Meeting, Long Beach, Ca.
- Lake, L.W. 1989, "*Reservoir Characterization-2*", SPE Reprint Series No. 27.
- Lake, L.W and Jensen, J.L, 1989, A Review of Heterogeneity Measure Used in Reservoir Characterization, presented at Journal SPE 20156.
- Minas Field History and Data Field, PT. Chevron Pacific Indonesia, 2010.
- Permadi, A. K. 2004, "*Diklat Teknik Reservoir I – IP*" ITB : Bandung.
- Saad, N., V. Maroongroge, and C.T. Kalkorney, 1996, "Ranking Geostatistical Models Using Tracer Production Data," SPE 35494 presented at the European 3-D Reservoir Modeling Conference, Stavanger, Norway, 16-17 April 1996.
- Shook, G. M, and Forsmann, J. H, 2005, "Tracer Interpretation Using Temporal Moments on a Spreadsheet", Idaho National Laboratory, Geothermal Technologies Program, Idaho.
- Shook, G. M., and Mitchell K. M, 2009, "A Robust Measure of Heterogeneity For Ranking Earth Models: The F-PHI Curve and Dynamic Lorenz Coefficient," SPE 124625, presented at the 2009 SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in New Orleans, Louisiana, USA, 4-7 October 2009.
- Shook, G. M., 2010, "*Assessing Model Heterogeneity using Streamline Analysis*" – A description of the method and implementation of fphi\_Jan10.