

Pengembangan Simulasi Distribusi Rekahan pada Reservoir Rekah Alami Berdasarkan Data Produksi

Oleh: Arie Haans¹⁾ dan Usman²⁾

Calon Peneliti¹⁾, Peneliti Muda²⁾ pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230, Indonesia

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, Faksimile: 62-21-7246150

Teregistrasi I Tanggal 19 April 2010; Diterima setelah perbaikan tanggal 29 November 2010

Disetujui terbit tanggal: 31 Desember 2010

S A R I

Reservoir rekah alami umumnya dicirikan oleh karakteristik *double-porosity* di mana *primary porosity* merepresentasikan porositas matriks dan *secondary porosity* merepresentasikan porositas rekahan. Pada *double-porosity model* diasumsikan terdapat dua region dengan porositas dan permeabilitas yang berbeda dalam suatu formasi. Warren dan Root memperkenalkan dua karakteristik parameter yang mengontrol perilaku suatu sistem *double-porosity*. Kedua parameter tersebut adalah *interporosity flow coefficient* (λ) menggambarkan kemampuan fluida mengalir dari primary porosity ke *secondary porosity* dan *storativity* (ω) menggambarkan rasio kapasitas simpan *secondary porosity* terhadap total pori.

Kedua karakteristik rekahan tersebut selama ini diperoleh dari data tes sumuran. Pada makalah ini penulis mengembangkan suatu metode penentuan karakteristik rekahan berdasarkan data produksi dengan menggunakan metode *central difference* dan *trapezoid-second derivative*. Metode geostatistik digunakan dalam menyebarkan karakteristik rekahan tersebut. Data produksi yang digunakan adalah data laju alir dan atau data *water cut*. Reservoir rekah alami ditandai dengan laju produksi periode awal yang tinggi, kemudian turun secara cepat dengan *slope* data yang curam. Periode penurunan ini merepresentasikan kontribusi parameter λ . Hasil yang diperoleh dari metode ini perlu dikorelasikan dengan hasil dari uji sumur.

Kata Kunci : reservoir rekah, lambda, omega, *double-porosity*, geostatistik, distribusi rekahan.

ABSTRACT

Naturally fractured reservoirs are typically characterized by a double-porosity behavior in which a primary porosity that represents the matrix and a secondary porosity that represents the fracture system. The double-porosity model assumes two porous regions of distinctly different porosities and permeabilities within the formation. Warrant and Root indicated that the two characteristic parameters control the behavior of double-porosity systems. There are interporosity flow coefficient (λ) which describes the ability of the fluid to flow from the matrix into the fracture and the storativity (ω) which describes the storativity of the fracture as a ratio to the total reservoir.

Both characteristic parameters are usually derived from the well test data. In this paper, the authors developed a method to describe the fracture characteristic based on production data using the central difference method and the trapezoid-second derivatives. Geostatistic method applied to distribute the obtained fracture characteristic. The flow rate data and or the water cut data were used. Naturally fractured reservoir characterized by initial high production, then declines very quickly. This decline period suggests the contribution of λ parameter. The results obtained by this methode should be correlated with the results derived from well test.

Keywords : geostatistic, carbonate reservoir, fracture distribution, dual porosity

I. PENDAHULUAN

Pada reservoir rekah alami terdapat perbedaan dan diskontinuitas akibat adanya dua sistem porositas yang kontras dalam formasi yang sama. Sistem yang pertama adalah matriks batuan tersusun atas pori-pori halus dan mempunyai kapasitas simpan yang besar tetapi rendah dalam hal kemampuan aliran. Matriks ini saling berhubungan dengan sistem kedua yaitu rekahan batuan yang memiliki kapasitas simpan rendah tetapi mempunyai kemampuan aliran tinggi. Karakteristik hubungan antara porositas matriks dan porositas rekahan dapat dikenali dari parameter tanpa dimensi λ dan ω . Kedua parameter tersebut umumnya ditentukan dari repons tekanan pada kondisi aliran transien saat uji sumur.

Pada makalah ini penulis mengembangkan metode penentuan karakteristik rekahan berdasarkan data produksi laju alir dan/atau *water cut* sumuran. Ciri produksi pada reservoir rekah alami adalah laju alir awal tinggi sebagai kontribusi akumulasi fluida dalam rekahan, kemudian turun signifikan menandai kontribusi aliran dari matriks ke rekahan. Kemiringan kurva laju produksi dianalisis untuk memperoleh gambaran aliran pada dua sistem porositas yang berbeda. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah *central difference* dan *trapezoid-second derivative*. Metode geostatistik kemudian digunakan dalam menyebarkan karakteristik rekahan yang diperoleh dari sumuran ke seluruh reservoir.

Untuk perhitungan simulasi *kriging*, koordinat sumur dikonversi terlebih dahulu ke dalam koordinat matriks. Dengan menggunakan 3 pasangan data (x, y , rekahan), simulasi *kriging* dapat dilakukan dengan beragam variogram (*spherical, gaussian, exponential, linear*). Simulasi *kriging* dilakukan setelah diperoleh keselarasan variogram. Hasil simulasi adalah sebaran rekahan dalam bentuk peta dua dimensi (2D). Sistem grid 200×200 dengan dimensi grid $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ digunakan dalam simulasi ini. Distribusi rekahan pada sistem grid adalah hasil perhitungan simulasi kuantitatif.

Dua perangkat lunak yaitu *Derivative Analyzer* dan Geostatistik 2D telah dikembangkan menggunakan bahasa MATLAB versi 6.0. *Derivative analyzer* digunakan untuk menentukan karakteristik rekahan dari data produksi. Geostatistik 2D digunakan untuk menyebarkan rekahan antar sumur.

II. GEOSTATISTIK

A. Definisi Variogram

Variogram dari sebuah fungsi acak intrinsik $\gamma(h) = 0.5 \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)]$ sehingga untuk variabel-variabel stasioner dan intrinsik, nilai tengah $Z(x+h) - Z(x)$ adalah nol. Dengan demikian $\gamma(h)$ hanya perbedaan kuadrat nilai tengah. Akibatnya

$$\gamma(h) = 0.5 E[Z(x+h) - Z(x)]^2.$$

Harga x dan $x+h$ merujuk pada titik-titik dalam n dimensi. Sehingga variogram adalah fungsi dari n komponen (h_1, \dots, h_n) atau juga modulus dari vektor h dan orientasinya.

Untuk sudut yang tetap, variogram menunjukkan seberapa besar perubahan perbedaan sebanding dengan peningkatan jarak. Bila sudut berubah, variogram tidak memperlihatkan sifat sebagai fungsi sudut jurusan, seperti anisotropi.

Beberapa sifat variogram adalah:

- Selalu mulai dari 0 (untuk $h = 0, Z(x+h) = Z(x)$), tetapi bisa saja diskontinu begitu lepas dari titik asalnya.
- Secara umum meningkat sebanding dengan h .
- Meningkat sampai *level* tertentu yang disebut *sill* dan selanjutnya mendatar ataupun bisa meningkat terus.

B. Range dan Zona Pengaruh

Rate peningkatan variogram sebanding dengan jarak seberapa cepat pengaruh satu sampel sebanding dengan jarak. Setelah variogram mencapai nilai batas (*sill*), tidak ada lagi korelasi antar-sampel. Jarak kritis ini (saat mulai terjadi kondisi *sill*) disebut sebagai *range*, memberikan definisi yang lebih jelas tentang zona pengaruh.

Untuk variabel-variabel stasioner, $\gamma = (h)$ sama dengan jarak variansi untuk jarak sebelum *range*.

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= 0.5 \text{Var}[Z(x+h) - Z(x)] \\ &= 0.5 [\text{Var}(Z(x+h)) - \text{Var}(Z(x))] = \delta^2 \end{aligned}$$

Range tidak harus selalu sama pada semua arah atau dikenal sebagai fenomena anisotropi. Dalam arah yang sama pun bisa terdapat lebih dari satu *range* bila terdapat beberapa struktur terbatas yang berpengaruh dalam skala jarak yang berbeda.

C. Sifat-sifat di Sekitar Titik Asal

1. Kuadratis. Variabel regional benar-benar kontinu dan diferensiabel. Dapat juga berhubungan dengan adanya sebuah *drift*.
2. Linier. Variabel regional kontinu tetapi tidak diferensiabel dan kurang regular seperti yang di atas
3. Diskontinu di titik asal. $\gamma(h)$ tidak menuju nol walaupun h menuju nol, variabel sangat irregular untuk jarak pendek.
4. Datar. Betul-betul murni acak atau *white noise*. Variabel-variabel regional tidak berkorelasi untuk semua nilai h . Model ini juga yang diadopsi untuk analisis *trend surface*.

Variogram pada hampir semua variabel memiliki diskontinuitas pada titik awalnya yang disebut *nugget effect*.

D. Anisotropi

Anisotropi geometris dapat berbentuk:

- Variogram ke semua arah dengan nilai *sill* yang sama, walaupun *rangeny* berbeda.
- Variogram linier pada arah yang berlainan,, tetapi memiliki *slope* yang berbeda.

Range atau *slope* ini dapat digambarkan sebagai fungsi dari arah dengan, antara lain, memanfaatkan bentuk geometris *elips* (2-D). Kalau digunakan bentuk geometri *ellips*, maka dengan memanfaatkan formula transformasi koordinat sederhana dapat diperoleh bentuk geometri lingkaran yang sekaligus mengeliminir sifat anisotropi geometris ini. Transformasi sederhana dapat dijelaskan bila dipilih sumbu utama elips berhimpit dengan sumbu X koordinat (absis). Jika persamaan variogram pada arah 1 adalah maka keseluruhan variogram setelah dikoreksi sifat anisotropi-nya menjadi

$$\gamma(h) = \gamma_1 \left(\sqrt{h_1^2 + k^2 h_2^2} \right) \text{ dengan } k = \frac{\text{range 1}}{\text{range 2}}$$

$$\text{atau } k = \frac{\text{slope 1}}{\text{slope 2}}$$

Arah vertikal juga memainkan peranan penting dalam menentukan variogram karena ada perlapisan (*strata*) secara vertikal. Biasanya, digunakan pemilahan variogram menjadi komponen horizontal dan komponen vertikalnya: Komponen isotropi

$\gamma_0(\sqrt{h_1^2 + h_2^2 + h_3^2})$, Komponen vertical $\gamma(h_3)$, maka Komponen keseluruhannya menjadi

E. Drift

Pada umumnya, secara teoritis diperlihatkan bahwa variogram untuk variabel-variabel yang intrinsik dan stasioner meningkat lebih lambat dibandingkan sebuah fungsi kuadratnya untuk jarak yang besar.

$$\frac{\gamma(h)}{h^2} \rightarrow 0 \text{ untuk } h \rightarrow \infty$$

Dalam prakteknya, seringkali terjadi bahwa variogram meningkat lebih cepat daripada h^2 , yang menunjukkan adanya sebuah *drift* atau pergeseran. Variogram eksperimental memberikan sebuah estimasi *raw variogram*, dan tidak mengestimasi variogram sebenarnya (*underlying*). Kedua jenis variogram ini akan berhimpit hanya jika peningkatannya memiliki sebuah nilai menengah sama dengan nol (*zero mean*). Jika tidak maka akibatnya

$$E(Z(x+h) - Z(x))^2 = \text{Var}(Z(x+h) - Z(x)) + (E(Z(x+h) - Z(x)))^2$$

Raw variogram = variogram sebenarnya + (bias)²

F. Struktur terkurung (nested structure)

Struktur terkurung dibentuk dari sebuah struktur *range* pendek dan sebuah struktur *range* yang lebih panjang. Struktur ini mengindikasikan adanya proses-proses yang bekerja pada skala yang berlainan.

G. Efek Proporsional

Efek proporsional muncul apabila nilai (terutama nilai *sill*) sebanding dengan kuadrat gradasi nilai menengah lokal, yang biasanya muncul dalam data yang terdistribusi secara *lognormal*. Nilai *variogram* untuk zona yang berbeda memiliki bentuk sama, tetapi nilai *sill* berbeda satu sama lain. Nilai *sill* menjadi sebanding dengan nilai menengah lokal, sementara model variogram sebenarnya (*underlying*) dapat diperoleh dengan membagi setiap variogram lokal dengan kuadrat nilai menengah lokal dan meratakannya sebelum disesuaikan (*fitted*) dengan sebuah model variogram.

H. Efek lubang dan periodisitas

- Dari nol ke tak hingga ada berbagai sifat variogram, mulai dari struktur terkurung, efek lubang (*hole effect*), atau periodisitas.

- *hole effect* muncul pada kondisi dimana suatu saat variogram eksperimental meningkat di atas nilai *sill* kemudian jatuh. Efek ini berhubungan dengan adanya lubang pada kovariansi. Secara alamiah, efek lubang disebabkan oleh fluktuasi variogram atau fluktuasi statistik akibat dari kurangnya pasangan titik yang dipakai untuk menghitung variogram eksperimental tersebut.

Lapisan-lapisan yang terlipat dapat menghasilkan suatu periodisitas dalam variogram. Namun, periodisitas dalam variogram seringkali berupa suatu artefak akibat aktivitas manusia daripada muncul secara alamiah.

III. DATA DAN HASIL ANALISIS

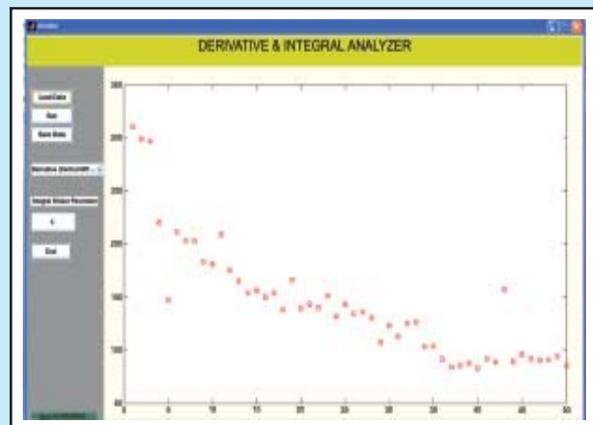
Perangkat lunak yang dikembangkan dari penelitian ini, yaitu *Derivative Analyzer* dan Geostatistik 2D menggunakan bahasa pemrograman MATLAB versi 6.0. Perangkat lunak *Derivative Analyzer* (Gambar 1) digunakan dalam penentuan besarnya rekahan dengan menggunakan data laju alir. Dalam penentuan nilai rekahan masing-masing sumur digunakan nilai *slope* dari data laju alir yang merepresentasikan nilai rekahan pada sumur tersebut. Sementara perangkat lunak Geostatistik 2D (Gambar 2) digunakan dalam penyebaran rekahan yang diperoleh dari *Derivative Analyzer*.

Lapangan migas yang digunakan dalam studi ini dibagi menjadi lima blok yang dibatasi oleh fault. Lapangan migas ini bisa dianggap sebagai lapangan marginal dengan jumlah sumur 313.. Blok I memiliki 91 sumur, Blok II memiliki 25 sumur, Blok III memiliki 82 sumur, Blok IV memiliki 36 sumur dan Blok V memiliki 56 sumur. Rekahan dapat diidentifikasi dari hasil uji FMI *Grid* sumur pada blok I-V dapat dilihat pada Gambar 3 – 7.

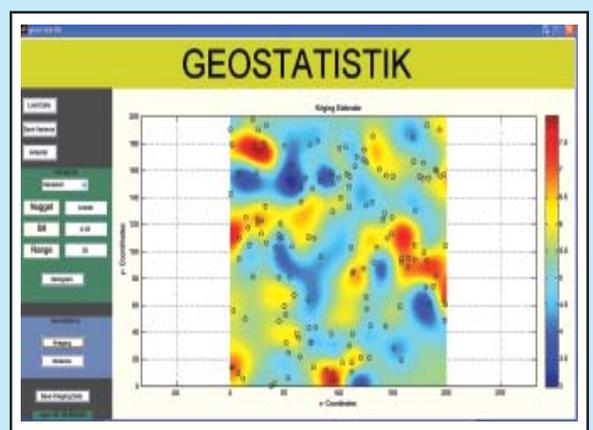
Data laju alir sumur (contoh pada sumur X-6) sebagai input *Derivative Analyzer* ditampilkan pada Gambar 8.

Dari data di atas ditentukan *slope* dengan menggunakan metode *central difference* seperti terlihat pada Gambar 9. Nilai dari *slope* ini merepresentasikan sebagai nilai rekahan sumur tersebut.

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan *slope* dari data laju alir pada semua sumur yang terdapat pada lapangan ini.



Gambar 1
Tampilan Perangkat Lunak *Derivative Analyzer*

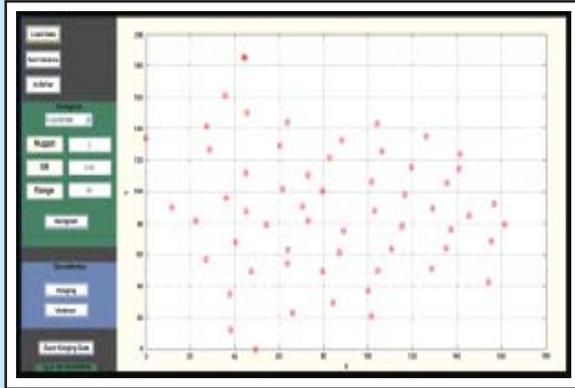


Gambar 2
Tampilan Perangkat Lunak Geostatistik 2D

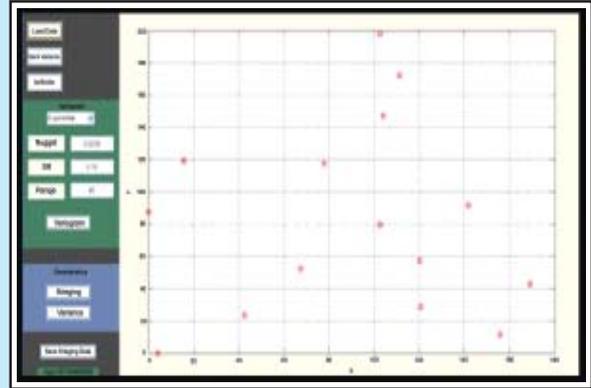
Hasil *run* perangkat lunak *Derivative Analyzer* menjadi *input* untuk perangkat lunak Geostatistik 2D seperti terlihat pada Tabel 1 yang merupakan contoh untuk Blok III.

Dari data *input* produksi yang mengindikasikan besaran rekahan, kemudian dilakukan variogram menggunakan metode Gaussian, Spherical, Exponential. Metode Gaussian pada penyebaran Blok III ditampilkan pada Gambar 10.

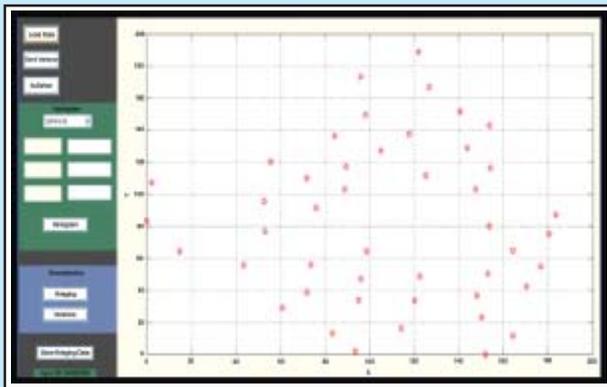
Dari variogram menggunakan metode Gaussian, selanjutnya dilakukan *kriging* untuk penyebaran rekahan yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 11. Besarnya rekahan ditunjukkan oleh perbedaan warna. Hasil penyebaran rekahan dari masing-masing



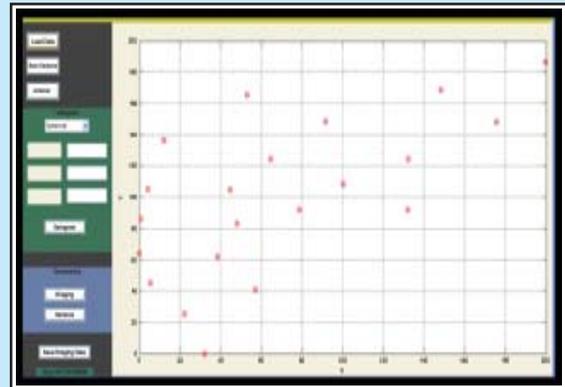
Gambar 3
Grid Sumur Blok I



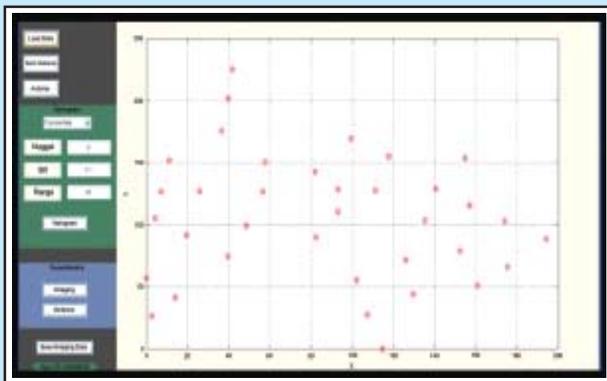
Gambar 4
Grid Sumur Blok II



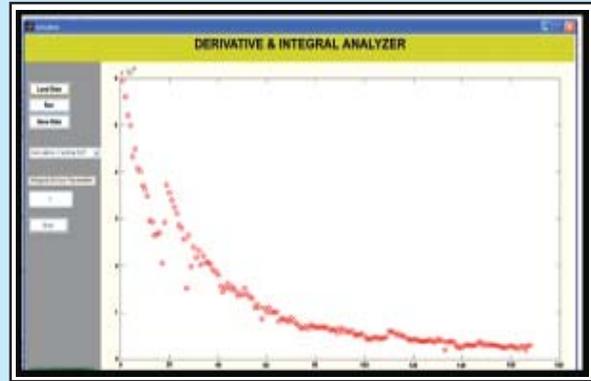
Gambar 5
Grid Sumur Blok III



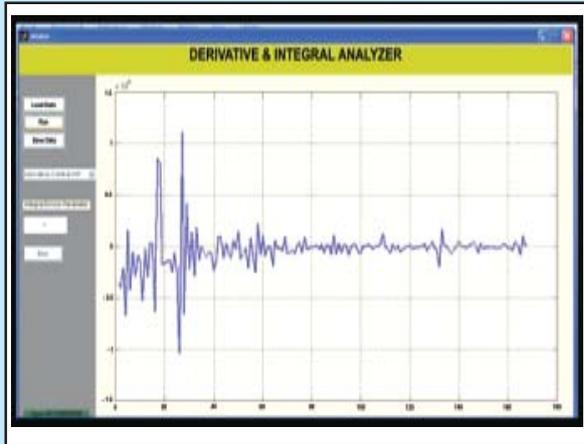
Gambar 6
Grid Sumur Blok IV



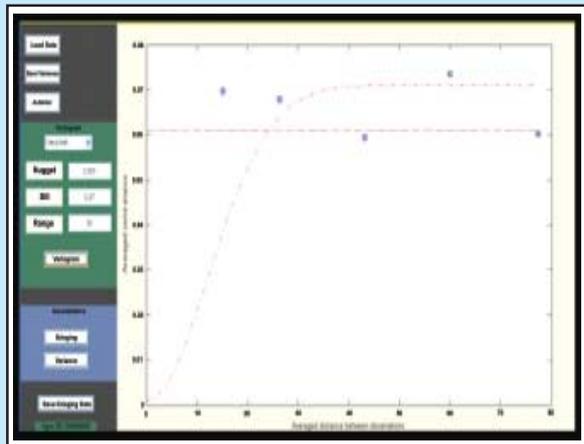
Gambar 7
Grid Sumur Blok V



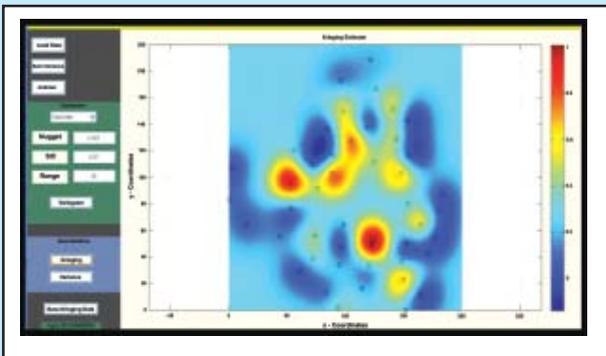
Gambar 8
Data Laju Alir Sumur X-6



Gambar 9
 Slope Laju Alir Sumur X-6



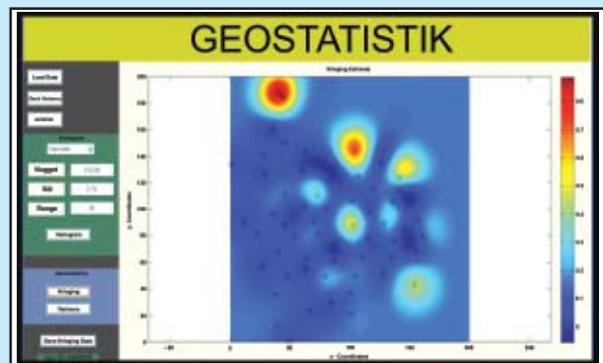
Gambar 10
 Blok III-Gaussian Variogram



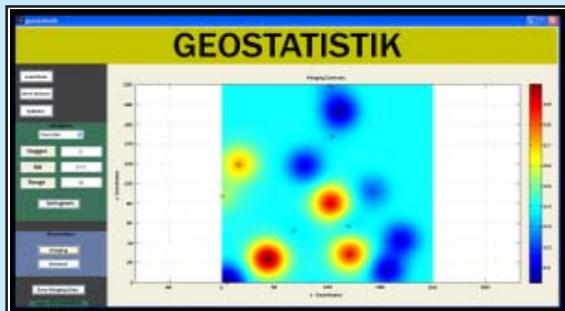
Gambar 11
 Penyebaran Rekanan dengan Metode
 Gaussian Blok III

Tabel 1
 Data Input

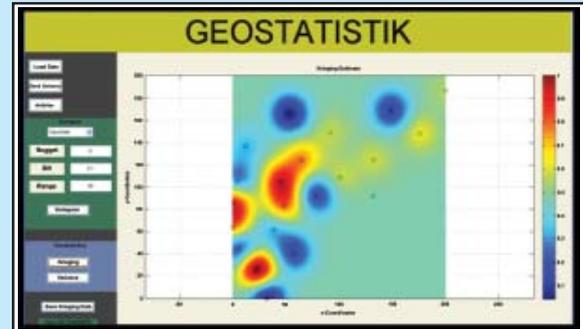
BLOK III			
Well	X (grid well)	Y (grid well)	Fracture
X-7	122.71	48.69	1.00
X-9	105.14	127.06	0.75
X-12	53.14	76.69	0.17
X-14	164.43	64.75	0.52
X-18	121.86	189.00	0.18
X-27	88.71	103.31	0.72
X-30	143.86	128.88	0.39
X-31	147.71	103.13	0.59
X-37	153.71	79.94	0.33
X-39	98.71	64.25	0.21
X-41	73.71	55.75	0.39
X-43	98.14	149.81	0.53
X-45	140.71	151.63	0.47
X-51	96.14	173.25	0.13
X-53	55.71	120.56	0.27
X-54	150.29	23.06	0.63
X-58	52.71	95.56	0.92
X-61	93.71	1.88	0.33
X-63	152.00	0.00	0.22
X-64	153.14	50.44	0.10
X-73	120.29	33.63	0.32
X-81	72.00	38.88	0.32
X-82	125.14	111.75	0.44
X-83	114.29	16.25	0.19
X-89	117.86	137.56	0.13
X-99	95.14	34.00	0.18
X-100	83.29	13.19	0.12
X-101	148.14	36.81	0.21
X-102	89.43	117.19	0.23
X-108	76.14	91.63	0.51
X-117	126.71	166.94	0.27
X-129	84.43	136.50	0.09
X-130	96.00	47.13	0.05
X-161	60.86	29.13	0.05
X-164	71.86	110.06	0.05
X-182	153.86	142.69	0.05
X-186	176.86	54.88	0.04
X-187	164.29	11.50	0.04
X-188	170.57	42.19	0.04
X-211	180.57	75.13	0.04
X-212	154.29	116.31	0.06
X-213	183.57	87.00	0.04
X-238	14.86	64.19	0.06



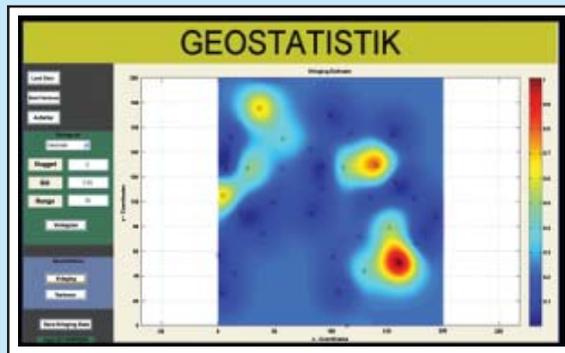
Gambar 12
 Penyebaran Rekanan dengan Metode
 Gaussian Blok I



Gambar 13
Penyebaran Rekahan dengan Metode
Gaussian Blok II



Gambar 14
Penyebaran Rekahan dengan Metode
Gaussian Blok IV



Gambar 15
Penyebaran Rekahan dengan Metode
Gaussian Blok V

blok dapat dilihat pada Gambar 11-15. Nilai rekahan yang besar ditunjukkan pada warna merah dan kuning.

IV. KESIMPULAN

1. Data produksi dapat digunakan untuk menentukan karakteristik rekahan pada reservoir rekah alami.
2. Dua perangkat lunak yaitu *Derivative Analyzer* dan *Geostatistik 2D* telah dikembangkan untuk menentukan karakteristik rekahan dari data produksi dan untuk menyebarkan rekahan antar sumur.
3. Direkomendasikan sebaiknya diteliti lebih lanjut

hubungan antara *slope* laju produksi dengan parameter λ dan ω .

KEPUSTAKAAN

1. Ahmed, T. and McKinney, P.D., 2005, *Advanced Reservoir Engineering*, Gulf Professional Publishing in an imprint of Elsevier, The United State of America.
2. Away, Gunaidi Abdia, 2008, *The Shortcut of Matlab Programming*, Informatika, Jakarta.
3. David, Michael, 1987, *Handbook of Applied Advanced Geostatistical Ore Reserve Estimation*, Elsevier Scientific Pub. Co, New York.
4. Deutsch, Clayton V. and Journel, Andre G, 1998, *GSLIB Geostatistical Software Library and User's Guide*, Oxford University Press, New York.
5. Hanselman, Duane, and Littlefield, Bruce, 2000, *Mastering Matlab 6*, Prentice Hall, United States.
6. Kitandis, P.K., 1997 *Introduction to Geostatistics*, Press Syndicate of the University of Cambridge, United Kingdom.
7. Ozkaya, S.I. and Richard, P.D., 2006, "Fractured Reservoir Characterization Using Dynamic Data in a Carbonate Field, Oman", *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*, Volume 9, Number 3, June 2006, 227-238.
8. Van Golf-Racht, T.D., 1982, *Fundamentals of Fractured Reservoir Engineering*, Elsevier Scientific Publishing Company, AE Amsterdam, The Netherlands.