

**KARAKTERISASI RESERVOIR MINYAK BUMI
MELALUI PENDEKATAN SPATIO-TEMPORAL**

**LAPORAN RISET
RISET UNGGULAN TERPADU XI
BIDANG KELAUTAN, KEBUMIHAN, DAN
KEDIRGANTARAAN**

Oleh:

Dr. Budi Nurani Ruchjana, MS

Universitas Padjadjaran



**KEMENTERIAN RISET DAN TEKNOLOGI RI
2005**

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian Riset Unggulan Terpadu XI bidang Kelautan, Kebumihan, dan Kedirgantaraan yang berjudul *Karakterisasi Reservoir Minyak Bumi melalui Pendekatan Spatio-Temporal* yang dilaksanakan selama 2 tahun (2004-2005).

Secara khusus kami sampaikan ucapan terima kasih kepada:

- Menteri Negara Riset dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini
- Dewan Riset Nasional serta Tim penilai yang telah memberikan masukan-masukan untuk penyempurnaan penelitian ini
- Pimpinan beserta Staf Lembaga Penelitian Universitas Padjadjaran yang telah memberikan bantuan administrasi selama penelitian berlangsung
- Pimpinan dan Staf Pertamina Daerah Operasi Hulu Jawa Bagian Barat atas kerja sama dalam penerapan model spatio-temporal, khususnya model GSTAR-Kriging pada data di lapangan
- Staf Jurusan Matematika FMIPA Universitas Padjadjaran dan Staf Departemen Matematika FMIPA Institut Teknologi Bandung atas kerja samanya untuk penggunaan sarana laboratorium komputer
- Semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini

Mudah-mudahan hasil penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan dan penerapan model spatio-temporal, khususnya model GSTAR-Kriging pada bidang perminyakan khususnya dan teknologi kebumihan pada umumnya.

Bandung, 31 Desember

2005

Tim Peneliti:

Dr. Budi Nurani Ruchjana, MS, Peneliti Utama

Dr. Sutawanir Darwis, Peneliti

Dr. Asep K. Supriatna, MS, Peneliti

Ino Suryana, M.Kom, Teknisi

Asep Sholahuddin, MT, Teknisi

ABSTRAK

Model spatio-temporal berperan penting dalam bidang geologi, ekologi dan aplikasi lainnya, model tersebut merupakan kumpulan data yang diurutkan dengan waktu dari beberapa lokasi yang berbeda. Dalam penelitian ini kami mengusulkan suatu pengembangan model spatio-temporal berupa model *Generalisasi Space Time Autoregresi-Kriging* (GSTAR-Kriging). Dengan model GSTAR diasumsikan bahwa parameter autoregresi dan parameter space time berbeda untuk setiap lokasi, asumsi ini lebih realistis untuk bidang aplikasi. Akan tetapi, model GSTAR masih memiliki keterbatasan, karena tidak dapat digunakan untuk memprediksi observasi di lokasi-lokasi yang tidak tersampel.

Model GSTAR-Kriging merupakan perluasan model GSTAR untuk digunakan dalam prediksi di lokasi-lokasi yang tidak tersampel. Dalam model GSTAR-Kriging, taksiran kuadrat terkecil parameter model GSTAR digunakan sebagai input dalam model kriging. Untuk studi kasus dipilih data produksi minyak bumi, karena produksi mempunyai fenomena spatio-temporal. Untuk penaksiran tersebut, perlu dibangun suatu perangkat lunak menggunakan macro excel-visual basic.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penaksiran parameter model GSTAR untuk N sumur dan model GSTAR-Kriging untuk 2 sumur menggunakan macro excel memberikan kontribusi untuk penerapan model spatio-temporal pada data lapangan. Penerapan model GSTAR-Kriging yang merupakan integrasi studi spasial dengan model spatio-temporal diharapkan meningkatkan akurasi prediksi cadangan dan aliran fluida.

Kata kunci: *model autoregresi, spatio-temporal, STAR, GSTAR, GSTAR-Kriging, kuadrat terkecil, penempatan sumur*

ABSTRACT

The spatio-temporal models play an important role in geological, ecological, and other applications, where data is a collection of time series recorded at different locations. In this research, we introduce a new class of spatio-temporal models which we call the *Generalized Space Time AutoRegressive-Kriging* (GSTAR-Kriging) model. The GSTAR model allows autoregression and spatial regression parameters to vary per location, which is a more realistic assumption in applications. But, the GSTAR model still restricted, because it cannot be used to predict observation at unsample locations.

Furthermore, the GSTAR-Kriging model extend the GSTAR model to use in prediction of observation at unsample locations. In the GSTAR Kriging model, we use the least squares estimator of the GSTAR model as an input of Kriging method. For case studies, the oil

production modeling will be reviewed. For estimating the parameter, we should build the software using macro excel-visual basic.

The result shows that the estimation of parameter GSTAR for N locations and the GSTAR-Kriging for 2 locations using macro excel gave a contribution in application of spatio-temporal models. An application of the GSTAR-Kriging which is combining the spatial and spatio-temporal models will give the accuracy of reserve prediction and fluida flow.

Key words: *autoregressive, spatio-temporal, STAR, GSTAR, GSTAR Kriging, least squares estimation, oil well placement*

DAFTAR ISI

	<i>Halaman</i>
LEMBAR PENGESAHAN	i
UCAPAN TERIMA KASIH	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1 Kerangka Riset	1
I.2 Permasalahan	3
I.3 Pendekatan Masalah	3
I.4 Hipotesa	4
I.5 Metode Riset	4
I.6 Arti Penting Riset	5
Bab II STUDI PUSTAKA	6
Bab III PROSEDUR DAN METODOLOGI	15
Bab IV HASIL DAN PEMBAHASAN	18
Bab V KESIMPULAN DAN SARAN	30
BIBLIOGRAFI	32
LAMPIRAN	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Uraian	Halaman
2.1	Model Sferikal	12
2.2	Hubungan Semivariogram dan Covariansi	13
3.1	Koordinat penyebaran sumur-sumur minyak bumi di lapangan Jatibarang	15
3.2	Diagram Alur Penerapan Model Spatio-Temporal	17
4.1	Lokasi Sumur dalam Sumbu Koordinat	21
4.2	Bagian yang tidak diarsir merupakan daerah pencarian yang mempunyai hubungan spasial sesuai dengan posisi lokasi	22
4.3	Koordinat titik-titik sumur minyak yang akan ditaksir untuk pasangan data sumur sampel JTB58 dan JTB62 pada sumbu koordinat	24
4.4	Simulasi model GSTAR-Kriging 2 Lokasi	28

DAFTAR TABEL

Tabel	Uraian	Halaman
4.1	Koordinat bawah dan ketebalan reservoir tiga sumur di lapangan Jatibarang	21
4.2	Jarak Antar sumur (m)	21
4.3	Data koordinat sumur minyak yang akan ditaksir untuk pasangan data sumur sampel JTB58 dan JTB62	23
4.4	Jarak sumur sampel(JTB58 dan JTB62) dengan sumur yang akan ditaksir (m)	24
4.5	Nilai semivariogram taksiran sumur sampel (JTB58 dan JTB62) dengan titik-titik sumur yang akan ditaksir	25
4.6	Nilai kombinasi linier taksiran kriging sumur	26

	sampel (JTB58 dan JTB62) dengan titik-titik sumur yang akan ditaksir	
4.7	Hasil prakiraan ketebalan reservoir titik-titik sumur yang akan ditaksir dari pasangan sumur-sumur sampel	26

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Uraian
1	Peta lapisan vulkanik lapangan Jatibarang
2	Data produksi minyak bumi di beberapa sumur lapisan vulkanik lapangan Jatibarang
3	Data ketebalan reservoir lapisan vulkanik lapangan Jatibarang
4	Listing program penaksiran GSTAR(1;1), simulasi GSTAR(1;1) dan GSTAR-Kriging menggunakan macro excel-visual basic
5	Tampilan dialog perangkat lunak penaksiran GSTAR(1;1), simulasi GSTAR(1;1) dan GSTAR-Kriging menggunakan macro excel-visual basic
6	Makalah yang dipublikasikan selama penelitian RUT XI 2004-2005

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Kerangka Riset

Minyak dan gas bumi (MGB) merupakan sumber energi yang penting di dunia. Bagi Indonesia, MGB memberikan kontribusi yang sangat besar dalam devisa. Kontribusi MGB ini perlu didukung oleh pemodelan dinamika kinerja reservoir yang dinamakan karakterisasi reservoir. Suatu pendekatan model spatio-temporal atau model space-time dapat digunakan untuk pemodelan dinamika kinerja reservoir. Dalam penelitian ini dipelajari model spatio-temporal untuk karakterisasi reservoir minyak bumi.

Pendekatan model spatio-temporal berupa model Space-Time AutoRegressive Moving Average (STARMA) dikaji oleh Pfeifer (1980) yang merupakan pengembangan model time series ARMA dari Box-Jenkins (1976) untuk beberapa lokasi, atau dinamakan model vektor time series (Hannan, 1970 dan Wei, 1990). Model Space-Time AutoRegressive (STAR) yang merupakan bagian dari model STARMA dari Pfeifer (1980) memiliki keterbatasan, yaitu model tersebut mengasumsikan bahwa parameter untuk semua lokasi yang tersampel bernilai sama, artinya lokasi-lokasi yang diamati bersifat serba sama atau homogen.

Dalam fenomena alam seringkali lokasi-lokasi pengamatan bersifat heterogen. Misalnya di lapangan minyak bumi Jatibarang, khususnya di lapisan vulkanik, sumur-sumur minyak bumi walaupun berdekatan dapat memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga sumur-sumur tersebut mempunyai heterogenitas yang tinggi. Sebagai contoh permeabilitas atau porositas di sumur-sumur yang berdekatan mempunyai nilai yang berbeda, karena adanya sifat *double porosity*, berupa batuan matriks dan rekahan (fracture). Walaupun secara teoritis produksi minyak bumi di Lapangan Jatibarang ditaksir sangat tinggi, namun dalam prakteknya sangat sulit untuk memprakirakan posisi sumur mana yang akan memberikan produksi yang banyak sehingga memiliki nilai ekonomi yang tinggi.

Untuk mempelajari pendekatan model spatio-temporal bagi lokasi-lokasi dengan sifat heterogenitas yang tinggi, seperti sumur-sumur minyak bumi di lapisan vulkanik Jatibarang, maka Ruchjana (2002) mengembangkan model STAR(1;1) menjadi model Generalisasi Space Time AutoRegresi, GSTAR(1;1). GSTAR(1;1) menunjukkan model GSTAR dengan lag waktu 1 waktu sebelumnya dan posisi lokasi berada dalam lag spasial 1. Keterbatasan model GSTAR(1;1) adalah hanya dapat digunakan untuk prediksi observasi di lokasi-lokasi yang tersampel. Di sisi lain, dalam analisis data spasial, Krige (1963) memberikan teknik kriging untuk melakukan prediksi di lokasi-lokasi yang tidak tersampel berdasarkan data lokasi-lokasi yang tersampel di sekitarnya.

Dalam penelitian ini dipelajari pendekatan model spatio-temporal berupa gabungan model GSTAR dengan teknik kriging, dinamakan model GSTAR-Kriging yang melibatkan faktor lokasi (posisi reservoir) dan waktu pengeboran untuk mempelajari karakterisasi reservoir minyak bumi. Hasil taksiran parameter model GSTAR memberikan nilai yang berbeda untuk setiap sumur. Nilai taksiran GSTAR(1;1) dalam studi ini digunakan sebagai input untuk kriging. Melalui model GSTAR-Kriging dapat diprediksi observasi pada posisi sumur baru yang dapat dieksplorasi berdasarkan informasi produksi sumur-sumur di sekitarnya.

Dengan teknik GSTAR kriging ini juga dapat diperoleh gambaran karakterisasi reservoir minyak bumi berdasarkan informasi karakteristik sumur-sumur di lokasi pengamatan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pengembangan manajemen reservoir jangka panjang. Agar hasil studi pengembangan model GSTAR-Kriging ini dapat diaplikasikan di lapangan, maka perlu dibuat suatu perangkat lunak yang dapat digunakan oleh user dengan mudah dan cepat. Dalam penelitian ini dibangun perangkat lunak penaksiran parameter model GSTAR(1;1) dengan metode kuadrat terkecil, simulasi model GSTAR(1;1), dan penaksiran parameter model GSTAR-Kriging.

1.2 Permasalahan

Studi karakteristik produksi sumur merupakan suatu pendekatan pemahaman kinerja reservoir. Pemodelan interaksi sumur dapat dinyatakan sebagai model spatio-temporal. Melalui pendekatan model GSTAR dapat digambarkan interaksi antar sumur melalui matriks bobot spasial. Permasalahan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah studi pengembangan model spatio-temporal model STAR menjadi model GSTAR-Kriging untuk mempelajari interaksi antar sumur dan prediksi observasi di sumur-sumur yang tidak tersampel?
2. Bagaimanakah penaksiran parameter model GSTAR menggunakan metode kuadrat terkecil untuk digunakan sebagai input dalam model kriging?

Kedua permasalahan di atas perlu didukung dengan dibangunnya perangkat lunak penaksiran parameter model spatio-temporal berupa model GSTAR dan model GSTAR-Kriging, mengingat di lapangan belum tersedia perangkat lunak model spatio-temporal yang *user friendly*.

1.3 Pendekatan Masalah

Fokus pada penelitian ini adalah studi pengembangan model spatio-temporal melalui model GSTAR-Kriging pada data produksi minyak bumi, karena produksi merupakan data spatio-temporal, melibatkan observasi di sumur-sumur minyak yang diamati berdasarkan urutan waktu. Untuk interaksi antar sumur observasi difokuskan pada matriks bobot spasial berupa model semivariogram data ketebalan.

Melalui model GSTAR diasumsikan produksi sumur di lokasi s_i pada waktu t berkorelasi dengan produksi pada satu periode sebelumnya dan dipengaruhi produksi sumur di lokasi sekitarnya. Mengingat model GSTAR hanya dapat

memprediksi di sumur-sumur yang tersampel, maka untuk memprediksi observasi di sumur-sumur yang tidak tersampel dilakukan studi pengembangan model spatio-temporal berupa model GSTAR-Kriging. Model GSTAR-Kriging ini digunakan untuk karakterisasi reservoir dengan memperhatikan interaksi spasial sumur terhadap kinerja produksi sumur minyak bumi.

1.4 Hipotesa

Pemodelan spatio-temporal melalui model GSTAR-Kriging diharapkan menghasilkan suatu metode prediksi profil kinerja produksi suatu sumur produksi. Dengan model GSTAR-Kriging dapat diprediksi produksi sumur-sumur di lokasi yang tidak tersampel berdasarkan informasi sumur-sumur terdekat di sekitarnya.

1.5 Metode Riset

Dalam penelitian ini dilakukan:

1. Studi literatur untuk mengkaji model deret waktu univariat dan model vektor, khususnya untuk model autoregresi serta pendekatan model spatio-temporal berupa model space time autoregresi (STAR) dan model generalisasi space time autoregresi (GSTAR). Kajian difokuskan pada model dengan orde 1 pada lag waktu dan orde 1 untuk lag spasial. Kajian teori juga dilakukan untuk mempelajari interaksi spasial melalui model semivariogram dan model kriging.
2. Studi eksperimental dilakukan untuk mengkaji: matriks bobot spasial model GSTAR, studi daerah penelitian untuk membangun database karakteristik reservoir (koordinat sumur, ketebalan, permeabilitas, porositas dan produksi bulanan) serta melakukan simulasi untuk penaksiran parameter model GSTAR dan GSTAR-Kriging
3. Studi pengembangan teori difokuskan pada kajian model spatio-temporal berupa model GSTAR-Kriging, meliputi teknik penaksiran dan aplikasinya pada data di lapangan.
4. Membangun perangkat lunak penaksiran parameter model GSTAR dan model GSTAR-Kriging

1.6 Arti Penting Riset

Pendekatan model spatio-temporal untuk penyajian karakteristik reservoir memberikan masukan dalam menentukan kebijakan strategi pengelolaan reservoir, karena model spatio-temporal GSTAR-Kriging memberikan informasi prediksi profil produksi di sumur-sumur yang tidak tersampel. Penelitian ini mempunyai arti penting, karena selain dilakukan pengembangan teori berupa pengembangan mode GSTAR menjadi model GSTAR-Kriging, juga dilakukan aplikasi model pada data di lapangan. Untuk memperkenalkan hasil penelitian model spatio-temporal dibangun perangkat lunak penaksiran parameter model GSTAR dan GSTAR-Kriging yang *user friendly*. Diharapkan komunikasi yang terjalin antara peneliti dengan pihak terkait di bidang industri, khususnya perminyakan, dapat dilakukan secara kontinu dengan kuantitas dan kualitas yang lebih meningkat agar hasil-hasil yang diperoleh dapat digunakan di lapangan.

BAB II

STUDI PUSTAKA

Studi pustaka dilakukan meliputi berbagai kajian dalam model spatio-temporal, khususnya kajian model Generalisasi Space Time Autoregresi Orde 1, GSTAR(1;1) dan teknik ordinary kriging untuk studi pengembangan teori berupa model GSTAR-Kriging.

2.1 Model STAR dan GSTAR

Pfeifer (1980) memberikan model $STAR_N(1_1)$:

$$\begin{aligned} \mathbf{z}(t) &= \phi_{10}\mathbf{z}(t-1) + \phi_{11}\mathbf{Wz}(t-1) + \boldsymbol{\varepsilon}(t), \\ \mathbf{E}\boldsymbol{\varepsilon}(t) &= \mathbf{0}, \mathbf{E}\boldsymbol{\varepsilon}(t)\boldsymbol{\varepsilon}(t)^t = \sigma^2\mathbf{I}, \mathbf{E}\mathbf{z}(t)\boldsymbol{\varepsilon}(t+s)^t = \mathbf{0}, s = 1, 2, \dots \end{aligned} \quad (2.1)$$

dengan \mathbf{W} adalah matriks bobot lokasi ukuran $N \times N$. Model $STAR_N(1_1)$ dapat dituliskan sebagai model linier:

$$\mathbf{z}(t) = (\mathbf{z}(t-1) \quad \mathbf{Wz}(t-1))\boldsymbol{\Phi} + \boldsymbol{\varepsilon}(t) \quad (2.2)$$

dengan $\boldsymbol{\Phi} = (\phi_{10} \quad \phi_{11})^t$ dan $t=1, 2, \dots, T$. Taksiran kuadrat terkecil dari parameter model $\boldsymbol{\Phi}$ adalah:

$$\begin{aligned} \hat{\boldsymbol{\Phi}} &= \left(\begin{array}{cc} \sum_{t=1}^T \mathbf{z}(t-1)^t \mathbf{z}(t-1) & \sum_{t=1}^T \mathbf{z}(t-1)^t \mathbf{Wz}(t-1) \\ \sum_{t=1}^T \mathbf{z}(t-1)^t \mathbf{Wz}(t-1) & \sum_{t=1}^T \mathbf{z}(t-1)^t \mathbf{W}^t \mathbf{Wz}(t-1) \end{array} \right)^{-1} \left(\begin{array}{c} \sum_{t=1}^T \mathbf{z}(t-1)^t \mathbf{z}(t) \\ \sum_{t=1}^T \mathbf{z}(t-1)^t \mathbf{W}^t \mathbf{z}(t) \end{array} \right) \\ &\cong \begin{pmatrix} \hat{\gamma}_{00}(0) & \hat{\gamma}_{10}(0) \\ \hat{\gamma}_{10}(0) & \hat{\gamma}_{11}(0) \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} \hat{\gamma}_{00}(1) \\ \hat{\gamma}_{10}(1) \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (2.3)$$

dengan $\hat{\gamma}_{lk}(s)$ adalah space time autokorelasi, dinyatakan:

$$\hat{\gamma}_{lk}(s) = \frac{1}{N(T-s)} \sum_{t=1}^{T-s} \mathbf{z}(t)^t \mathbf{W}^t \mathbf{Wz}(t+s) \quad (2.4)$$

Karena model STAR dari Pfeifer (1980) hanya dapat digunakan untuk lokasi-lokasi yang serba homogen, dengan mengasumsikan parameter autoregresi dan parameter space time adalah sama untuk setiap lokasi, maka untuk lokasi-lokasi yang heterogen, Ruchjana (2002) mengembangkan model STAR menjadi model GSTAR.

Untuk model yang umum, misalnya orde p dalam time dan orde $l=0,1,\dots,\lambda_k$ dalam space, notasi GSTAR($p;l$) dituliskan sebagai:

$$\mathbf{z}(t) = \sum_{k=1}^p \sum_{l=0}^{\lambda_k} \Phi_{kl} \mathbf{W}^{(l)} \mathbf{z}(t-k) + \mathbf{e}(t) \quad (2.5)$$

Untuk model orde 1, baik dalam space maupun time, GSTAR(1;1) dinyatakan oleh:

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_{(N \times 1)}(t) &= \Phi_{10(N \times N)} \mathbf{z}_{(N \times 1)}(t-1) + \Phi_{11(N \times N)} \mathbf{W}^{(1)}_{(N \times N)} \mathbf{z}_{(N \times 1)}(t-1) + \mathbf{e}_{(N \times 1)}(t) \\ &= \text{diag}(\phi_{10}^{(1)}, \dots, \phi_{10}^{(N)}) \mathbf{z}(t-1) + \text{diag}(\phi_{11}^{(1)}, \dots, \phi_{11}^{(N)}) \mathbf{W}^{(1)} \mathbf{z}(t-1) + \mathbf{e}(t) \end{aligned} \quad (2.6)$$

dengan:

$\text{diag}(\phi_{10}^{(1)}, \dots, \phi_{10}^{(N)})$: matriks diagonal parameter autoregresi lag time 1

$\text{diag}(\phi_{11}^{(1)}, \dots, \phi_{11}^{(N)})$: matriks diagonal parameter space-time lag spasial 1 dan lag time 1

\mathbf{W} : matriks bobot seragam ukuran $(N \times N)$

$\mathbf{z}(t)$: vektor acak waktu t

$\mathbf{e}(t) \stackrel{iid}{\sim} N(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I}_N)$

Model GSTAR(1;1) merupakan kasus khusus dari model Vektor Autoregresi, VAR(1), sehingga model GSTAR(1;1) juga dapat dinyatakan sebagai model linier, dan penaksiran parameter model tersebut dapat dilakukan menggunakan metode kuadrat terkecil.

Representasi model linier GSTAR(1;1) dituliskan:

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\vec{\beta} + \mathbf{e} \quad (2.7)$$

Untuk lokasi $i \in \{1,2,\dots,N\}$, pengamatan GS-TAR (1;1) pada waktu t dinyatakan:

$$z_i(t) = \phi_{10}^{(i)} z_i(t-1) + \phi_{11}^{(i)} \sum_{j \neq i} w_{ij} z_j(t-1) + e_i(t) \quad (2.8)$$

Model GSTAR(1;1) dapat dinyatakan dalam model VAR(1)

$$\mathbf{Z}(t) = \Phi \mathbf{Z}(t-1) + \boldsymbol{\varepsilon}(t)$$

Persamaan (2.8) untuk $t=2,3,\dots,T$ memberikan model linier lokasi i :

$$\mathbf{y}^{(i)} = \mathbf{X}^{(i)} \vec{\beta}^{(i)} + \mathbf{e}^{(i)} \quad (2.9)$$

Dalam (2.9) N model linier dihubungkan melalui variabel penjelas $(\tilde{z}_i(t-1))$.

Regresi simultan untuk semua lokasi dinyatakan dengan:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{z}(2) \\ \mathbf{z}(3) \\ \vdots \\ \mathbf{z}(T) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{diag}[\mathbf{z}(1)] & \text{diag}[\tilde{\mathbf{z}}(1)] \\ \text{diag}[\mathbf{z}(2)] & \text{diag}[\tilde{\mathbf{z}}(2)] \\ \vdots & \vdots \\ \text{diag}[\mathbf{z}(T-1)] & \text{diag}[\tilde{\mathbf{z}}(T-1)] \end{bmatrix} \mathbf{x} \vec{\beta} + \begin{bmatrix} \mathbf{e}(2) \\ \mathbf{e}(3) \\ \vdots \\ \mathbf{e}(T) \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Pada (2.10), $\text{diag}[\mathbf{z}]$ menyatakan matriks dengan elemen-elemen diagonal berupa vektor \mathbf{z} dan vektor parameter adalah:

$$\vec{\beta} = (\phi_{10}^{(1)}, \phi_{10}^{(2)}, \dots, \phi_{10}^{(N)}; \phi_{11}^{(1)}, \phi_{11}^{(2)}, \dots, \phi_{11}^{(N)})'$$

Kuadrat terkecil parameter $\vec{\beta}$ diberikan oleh persamaan:

$$\hat{\beta} = (\mathbf{X}' \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}' \mathbf{y} \quad (2.11)$$

diengan \mathbf{y} adalah $\mathbf{z}(t)$ dan $\mathbf{X} = [\text{diag}[\mathbf{z}(t-1)] \quad \text{diag}[\tilde{\mathbf{z}}(t-1)]]$.

Model $\text{GSTAR}_N(1_1)$ untuk N lokasi, dinyatakan:

$$\mathbf{z}(t) = \Phi_{10} \mathbf{z}(t-1) + \Phi_{11} \mathbf{WZ}(t-1) + \boldsymbol{\varepsilon}(t) \quad (2.12)$$

Untuk $N = 2$ sumur, model $\text{GSTAR}_2(1;1)$ dapat dituliskan:

$$\begin{cases} Z(s_1, t) = \phi_{10}(s_1)Z(s_1, t-1) + \phi_{11}(s_1)Z(s_2, t-1) + \varepsilon(s_1, t) \\ Z(s_2, t) = \phi_{11}(s_2)Z(s_1, t) + \phi_{10}(s_2)Z(s_2, t-1) + \varepsilon(s_2, t) \end{cases} \quad (2.13)$$

Model $\text{GSTAR}(1;1)$ untuk 3 sumur, dinotasikan $\text{GSTAR}_3(1;1)$ dituliskan:

$$\begin{pmatrix} Z(s_1, t) \\ Z(s_2, t) \\ Z(s_3, t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z(s_1, t-1) \\ Z(s_2, t-1) \\ Z(s_3, t-1) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon(s_1, t) \\ \varepsilon(s_2, t) \\ \varepsilon(s_3, t) \end{pmatrix} \quad (2.14)$$

$$\begin{aligned} \begin{pmatrix} Z(s_1, t) \\ Z(s_2, t) \\ Z(s_3, t) \end{pmatrix} &= \begin{bmatrix} \phi_{10}(s_1) & 0 & 0 \\ 0 & \phi_{10}(s_2) & 0 \\ 0 & 0 & \phi_{10}(s_3) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \phi_{11}(s_1) & 0 & 0 \\ 0 & \phi_{11}(s_2) & 0 \\ 0 & 0 & \phi_{11}(s_3) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} 0 & .6 & .4 \\ .7 & 0 & .3 \\ .6 & .4 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Z(s_1, t-1) \\ Z(s_2, t-1) \\ Z(s_3, t-1) \end{pmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \phi_{10}(s_1) & 0 & 0 \\ 0 & \phi_{10}(s_2) & 0 \\ 0 & 0 & \phi_{10}(s_3) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & .6\phi_{11}(s_1) & .4\phi_{11}(s_1) \\ .7\phi_{11}(s_2) & 0 & .3\phi_{11}(s_2) \\ .6\phi_{11}(s_3) & .4\phi_{11}(s_3) & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} Z(s_1, t-1) \\ Z(s_2, t-1) \\ Z(s_3, t-1) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

atau

$$\begin{cases} Z(s_1, t) = \phi_{10}(s_1)Z(s_1, t-1) + .6\phi_{11}(s_1)Z(s_2, t-1) + .4\phi_{11}(s_1)Z(s_3, t-1) \\ Z(s_2, t) = .7\phi_{11}(s_2)Z(s_1, t-1) + \phi_{10}(s_2)Z(s_2, t-1) + .3\phi_{11}(s_2)Z(s_3, t-1) \\ Z(s_3, t) = .6\phi_{11}(s_3)Z(s_1, t-1) + .4\phi_{11}(s_3)Z(s_2, t-1) + \phi_{10}(s_3)Z(s_3, t-1) \end{cases} \quad (2.15)$$

Hasil taksiran parameter GSTAR melalui metode kuadrat terkecil akan digunakan sebagai input model kriging, khususnya Ordinary Kriging (OK). Metode Ordinary kriging atau OK merupakan suatu metode berbentuk linier karena penaksir-penaksirnya dipengaruhi oleh kombinasi linear data. Model kriging dapat dituliskan:

$$z^* = \sum \lambda_i z_i \quad (2.16)$$

dengan λ adalah bobot kriging yang dalam penelitian ini berupa taksiran kuadrat terkecil $\text{GSTAR}(1;1)$, dan z_i adalah pengamatan produksi di sumur ke- i , sehingga z^* merupakan prediksi parameter $\text{GSTAR}(1;1)$ pada sumur-sumur yang belum tersampel yang akan digunakan untuk prediksi produksi.

Model GS-TAR pada (2.8) dapat pula dinyatakan:

$$Z(s_i, t) = \phi_{10}(s_i)Z(s_i, t-1) + \phi_{11}(s_i) \sum_{j \neq i} w(s_i, s_j)Z(s_j, t-1) + \varepsilon(s_i, t) \quad (2.17)$$

dengan $s_i \in \{1, 2, \dots, N\}$ dan $t \in \{1, 2, \dots, T\}$. Dengan metode kuadrat terkecil, diperoleh nilai parameter $\phi_{11}(s)$ pada N titik sampel yang diketahui, dan permasalahan adalah bagaimana memprediksi pada suatu titik (lokasi) baru s_0 . Taksiran $\hat{\phi}_{11}(s_0)$ adalah kombinasi linier dari N nilai yang diketahui.

$$\hat{\phi}_{11}(s_0) = \sum_{i \in I_s} \lambda_i \phi_{11}(s_i), \sum_{i \in I_s} \lambda_i = 1, I_s = \{1, 2, \dots, N\} \quad (2.18)$$

Dalam pengembangan teori ini, dipilih parameter ϕ_{11} sebagai input untuk model kriging, karena mewakili parameter space dan time. Untuk menyingkat penulisan, indeks (11) ditiadakan, sehingga penulisan model kriging dengan input taksiran GS-TAR menjadi lebih sederhana, yaitu:

$$\hat{\phi}(s_0) = \sum_{i \in I_s} \lambda_i \phi(s_i), \sum_{i \in I_s} \lambda_i = 1 \quad (2.19)$$

2.2 Kajian model korelasi spasial, semivariogram

Dalam kajian statistika, model stokastik digunakan untuk mempelajari pola data atau untuk memprediksi nilai suatu data. Untuk data spasial, misalkan $s \in R^d$ lokasi data pada ruang dimensi-D dan $Z(s)$ adalah data pada lokasi spasial s , proses acak $\{Z(s) : s \in D\}$ dinamakan proses spasial. Pada kenyataannya proses spasial mengandung aspek eratik artinya variabilitas nilai data besar. Oleh karena itu, proses spasial memerlukan hipotesis stasioner.

Proses spasial $\{Z(s) : s \in D\}$ memenuhi stasioner intrinsik jika

- $E\{Z(s)\}$ ada dan tidak bergantung pada lokasi s ,

$$E\{Z(s)\} = m, \quad \forall s$$
- Untuk semua jarak h , penambahan $[Z(s+h)-Z(s)]$ memiliki variansi berhingga yang tidak bergantung pada s ,

$$\frac{1}{2} \text{Var}\{Z(s+h) - Z(s)\} = \frac{1}{2} E\{[Z(s+h) - Z(s)]^2\} = \gamma(h)$$

Nilai $\gamma(h)$ dikenal dengan nama semivariogram dan merupakan parameter penting dalam proses spasial. $\gamma(h)$ bersifat anisotropik untuk vektor $\mathbf{h}=(|\mathbf{h}|, \theta)$.

Artinya semivariogram dipengaruhi oleh jarak dan arah. Bila $\gamma(h)$ hanya bergantung terhadap jarak, h , maka $\gamma(h)$ disebut semivariogram isotropik. (Armstrong, 1998, 25).

Besar semivariogram pada jarak $h = 0$ haruslah bernilai nol, karena tidak ada perbedaan antar lokasi yang dibandingkan dengan lokasi itu. Istilah-istilah yang dikenal pada semivariogram :

1. *Sill (c)* yaitu nilai $\gamma(h)$ yang menggambarkan variansi secara keseluruhan dari sampel data.
2. *Range (a)* yaitu daerah dimana nilai semivariogram mencapai nilai *sill* dimana sesudah mencapai nilai *sill* data tidak memiliki korelasi lagi atau *range* juga biasa disebut daerah pengaruh.

Beberapa sifat semivariogram :

1. $\gamma(s, s + h) = \gamma(s - (s + h)) = \gamma(h)$, untuk setiap h .
2. $\gamma(h) = C(0) - C(h)$, dimana $C(h)$ adalah kovariansi akibatnya $\gamma(0) = C(0) - C(0) = 0$.
3. $\gamma(h) = \gamma(-h)$ sifat simetris.
4. Jika $C(s, s + h) = C^0 |s - (s + h)| = C^0 |h|$, maka $\gamma(s, s + h) = \gamma^0 |h|$.

Penaksiran Semivariogram

Misalkan proses spasial $\{Z(s) : s \in R^2\}$, dimana R^2 adalah himpunan bilangan real dalam dua dimensi dan s adalah lokasi. Proses Z dikatakan stasioner bila distribusi dari $(Z(s_1), Z(s_2), \dots, Z(s_n)) = (Z(s_1 + h), Z(s_2 + h), \dots, Z(s_k + h))$ untuk setiap n lokasi spasial s_1, s_2, \dots, s_k dan untuk setiap kenaikan $h \in R^2$.

Untuk populasi $Z(s)$ yang berdistribusi Gauss (normal), maka diasumsikan bahwa:

- Nilai *mean* $Z(s)$ di semua titik s adalah sama.
- Variansi dari kenaikan $(Z(s_i + h) - Z(s_i))$ ada dan hanya bergantung pada panjang interval h , tidak bergantung pada lokasi s .

Taksiran semivariogram umumnya dikenal dengan sebutan semivariogram eksperimental, yakni :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{Z(s_i + h) - Z(s_i)\}^2 . \quad (2.20)$$

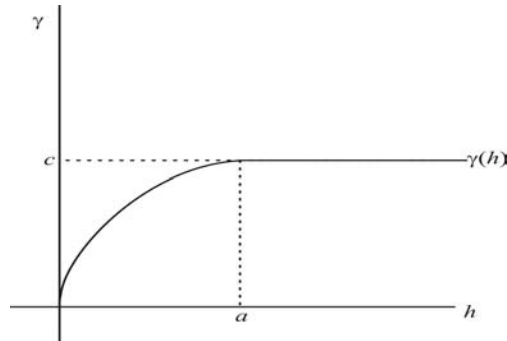
$N(h)$ adalah banyaknya pasangan lokasi yang berjarak $|h|$ dan arah θ .

Model Sferikal

Model ini merupakan model semivariogram yang paling sering digunakan, karena paling sederhana. Model ini cenderung membentuk garis lurus untuk harga-harga disekitar titik asal. Bentuk persamaannya

$$\gamma(h) = \begin{cases} c \left(\frac{3}{2} \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h^3}{a^3} \right) \right) & , h \leq a \\ c & , h > a \end{cases} \quad (2.21)$$

dengan $c = sill$ dan $a = range$ (Hohn, 1999, h.26)

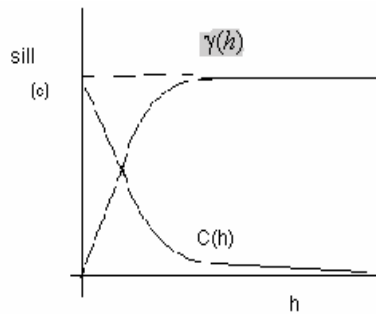


Gambar 2.1 Model Sferikal

Kaitan antara semivariogram, covariansi serta korelasi dapat dinyatakan:

$$\frac{\gamma(h)}{C(0)} = 1 - \frac{C(h)}{C(0)} = 1 - \rho(h) \quad (2.22)$$

atau dalam grafik, digambarkan:



Gambar 2.2 Hubungan Semivariogram dan Covariansi

2.3 Kajian model ordinary kriging (OK)

Kriging adalah suatu metode penaksiran variabel terregional pada suatu titik atau wilayah dengan kriteria meminimumkan taksiran variansi. Perhitungan kriging pada grid reguler dapat digunakan untuk menggambarkan peta kontur. Ordinary kriging atau OK merupakan suatu metode yang sering dihubungkan dengan sifat BLUE (best linear unbiased estimator), yakni penaksir tak bias linear yang terbaik. OK berbentuk linier karena penaksir-penaksirnya dipengaruhi oleh kombinasi linear data; tak bias karena bertujuan untuk mendapatkan m_R , mean galat, sama dengan nol; karena bertujuan untuk memperkecil σ_R^2 , variansi galat (Armstrong, 1998).

Secara ringkas, model kriging dapat dituliskan:

$$z^* = \sum \lambda_i z_i \quad (2.23)$$

λ adalah bobot kriging yang dalam penelitian ini berupa taksiran kuadrat terkecil GSTAR(1;1), dan z_i adalah pengamatan produksi di sumur ke- i , sehingga z^* merupakan prediksi parameter GS-TAR(1;1) pada sumur-sumur yang belum tersampel yang akan digunakan untuk prediksi produksi.

Dengan menggunakan sifat semivariogram dan covariansi, maka *Sistem ordinary kriging* yang merupakan kumpulan dari $(n+1)$ persamaan linier dengan $(n+1)$ parameter yang tidak diketahui dapat dituliskan dalam notasi matriks. Variansi

galat minimal biasanya mengarah kepada *variansi OK*, dimana digunakan notasi σ_{OK}^2 ; indeks OK berguna sebagai tanda bahwa variansi galat ini dihitung berdasarkan model.

BAB III

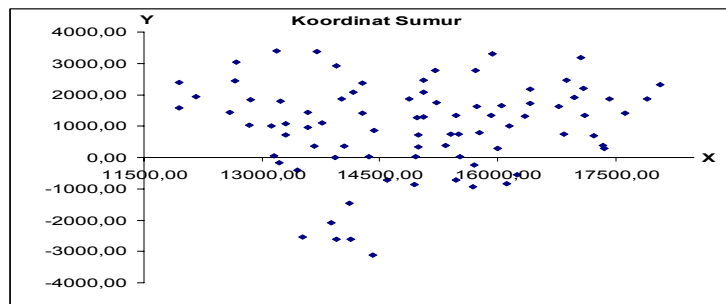
PROSEDUR DAN METODOLOGI

3.1 Pengumpulan dan Analisis Data

Dalam penelitian ini digunakan data sekunder yang diperoleh dari Pertamina Daerah Operasi Hulu Jawa Bagian Barat. Pengumpulan data di Lapangan Jatibarang dilakukan secara langsung berupa hard copy maupun melalui diskusi lewat e-mail dengan peneliti yang ada di Pertamina DOH Jawa Bagian Barat. Data sekunder yang diperoleh dalam penelitian ini antara lain:

- Peta lokasi sumur-sumur minyak bumi di lapisan vulkanik
- Data koordinat sumur-sumur di Lapangan Jatibarang
- Data ketebalan reservoir sumur-sumur minyak bumi di 83 pengamatan
- Data permeabilitas, porositas dari 39 sumur
- Data produksi minyak bumi dalam deret waktu (data bulanan) dari beberapa sumur

Lapangan minyak Jatibarang terletak di Kabupaten Indramayu memanjang dari Timur ke Barat ± 16 km dan Utara ke Selatan ± 10 km. Minyak dan Gas Bumi ditemukan pada basin Jawa Barat yang merupakan suatu antiklinal di bawah permukaan yang tidak selaras dari zona 400 sampai 1200 m memanjang dari Timur – Barat. Diagram koordinat penyebaran sumur-sumur minyak bumi yang berada di Lapangan Jatibarang dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Koordinat penyebaran sumur-sumur minyak bumi di Lapangan Jatibarang.

Lapisan minyak Jatibarang termasuk jenis reservoir rekah alam dimana banyak minyak berada dalam rekahan-rekahan dan matriks batuan. Pada reservoir jenis ini, minyak pertama kali diproduksi dari rekahan dan kemudian disusul minyak dari matriks batuan setelah terlebih dahulu mengalir ke dalam rekahan (porositas ganda). Salah satu ciri dari reservoir rekah alami adalah pada tahap awal sumur-sumur memproduksi sangat tinggi tetapi dalam waktu relatif singkat produksi dapat turun secara drastis yang diikuti dengan kadar air tinggi.

3.2 Alur Pengolahan Data

Data yang diperoleh dari survei lapangan maupun lewat e-mail, disusun untuk diolah. Pengolahan data untuk statistika deskriptif dan studi model deret waktu univariat dilakukan menggunakan perangkat lunak S-Plus 2000, sedangkan untuk penaksiran parameter model GSTAR(1;1) dan GSTAR-Kriging dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak yang dibangun menggunakan macro microsoft excel dengan visual basic. Alasan pemilihan macro excel, agar *user friendly*, karena microsoft excel dikenal oleh masyarakat.

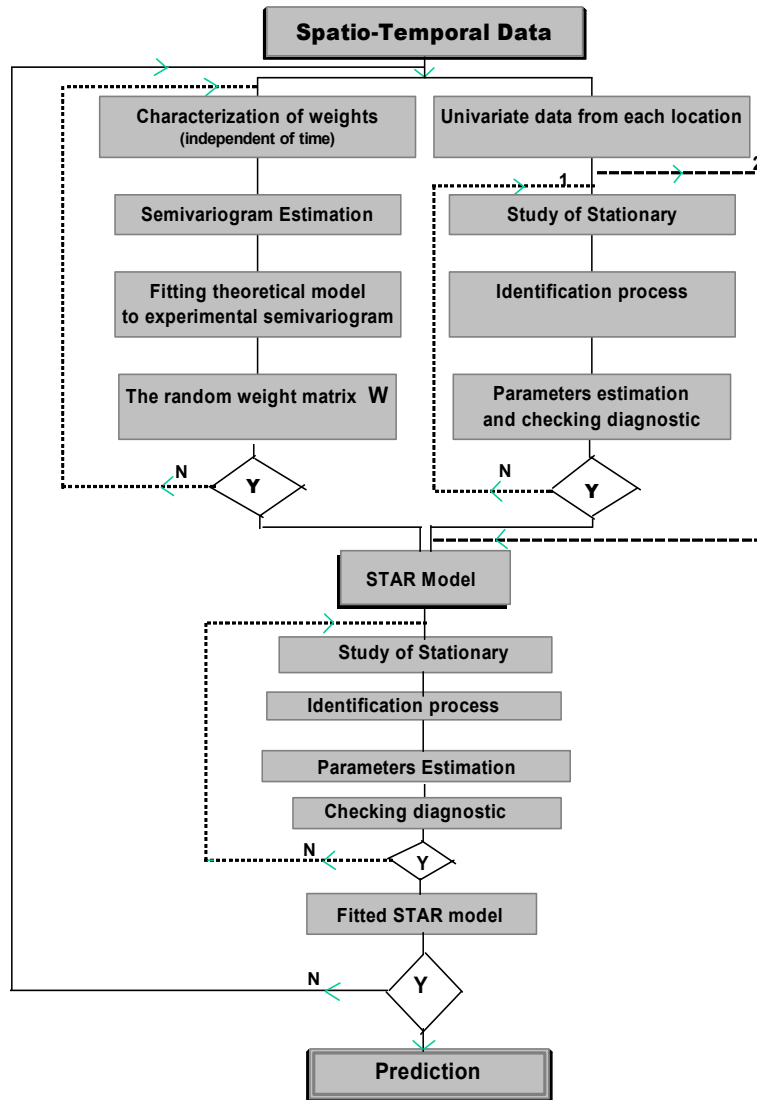
3.3 Membangun Perangkat Lunak Penaksiran Parameter Model GSTAR dan GSTAR-Kriging menggunakan Macro Excel

Kegiatan ini merupakan studi eksperimental untuk membangun perangkat lunak taksiran parameter model GSTAR menggunakan metode kuadrat terkecil maupun penaksiran parameter model GSTAR-Kriging.

Pada tahap awal penelitian ini, telah dibangun perangkat lunak penaksiran kuadrat terkecil model GSTAR(1;1) untuk N lokasi, namun masih memiliki keterbatasan belum adanya pemeriksaan matriks $(X'X)$ bersifat non-singulir. Tampilan interaktif pada perangkat lunak, diharapkan dapat membantu peneliti untuk melakukan penaksiran parameter model lebih cepat, tepat, dan akurat. Hasil pengembangan perangkat lunak berupa penaksiran parameter model GS-TAR(1;1) disajikan pada lampiran.

3.4 Alur Penerapan Model GSTAR-Kriging

Penerapan model spatio-temporal baik model STAR, GSTAR maupun model GSTAR-Kriging mengacu pada prosedur Box Jenkins. Secara ringkas penerapan model spatio-temporal digambarkan sebagai berikut.



Gambar 3.2 Diagram Alur Penerapan Model Spatio-temporal

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Studi Pengembangan Teori

Model GS-TAR Kriging untuk 2 lokasi

Sebagai studi awal, kajian model GS-TAR Kriging masih terbatas pada model bivariat, yaitu model yang melibatkan dua lokasi. Persamaan OK untuk 2 lokasi, dirumuskan:

$$\begin{pmatrix} 0 & \gamma_{12} & 1 \\ \gamma_{21} & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{10} \\ \gamma_{20} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

Taksiran untuk lokasi yang tidak tersampel dalam model kriging 2 lokasi, dirumuskan Armstrong (1998) sebagai berikut:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^2 \lambda_i Z(s_i) \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \hat{Z}(s_0) &= \lambda_1 Z(s_1) + \lambda_2 Z(s_2) \\ &= \lambda Z(s_1) + (1 - \lambda) Z(s_2) \end{aligned}$$

dengan syarat $\lambda_1 + \lambda_2 = 1$.

Penyelesaian (4.1) memberikan bobot λ sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\gamma_{20} - \gamma_{10}}{\gamma_{12}} \right) \quad \text{atau} \quad \lambda = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\gamma_{10} - \gamma_{20}}{\gamma_{21}} \right) \quad (4.3)$$

dan taksiran variansi kriging dinyatakan:

$$\hat{\sigma}_{OK}^2 = \lambda \gamma_{10} + (1 - \lambda) \gamma_{20} + \gamma_{20} - \lambda \gamma_{21} \quad (4.4)$$

Untuk memperoleh penurunan rumus kriging dua lokasi (4.3) dilakukan langkah-

dengan meminimalisasikan variansi penaksiran , yaitu:

$$\phi = 2 \sum \lambda_i \bar{\gamma}(x_i, V) - \sum \sum \lambda_i \lambda_j \gamma(x_i, x_j) - \bar{\gamma}(V, V) + 2\mu(1 - \sum \lambda_i) \quad (4.5)$$

Untuk meminimalisasi persamaan variansi penaksiran dilakukan diferensiasi terhadap faktor-faktor bobotnya dan mengarahkan turunannya ke nol. Bila sampel yang kita gunakan ada dua maka prosedur yang harus dilakukan sama dengan kasus umum dimana ada N sampel.

Jika dimisalkan $\gamma_{ij} = \gamma(x_i, x_j)$ dan $\gamma_{iV} = \gamma(x_i, V)$ maka

$$\begin{aligned} \phi &= 2(\lambda_1 \bar{\gamma}_{1V} + \lambda_2 \bar{\gamma}_{2V}) - (\lambda_1 \lambda_1 \gamma_{11} + \lambda_1 \lambda_2 \gamma_{12} + \lambda_2 \lambda_1 \gamma_{21} + \lambda_2 \lambda_2 \gamma_{22}) \\ &\quad - \gamma(V, V) + 2\mu(1 - \lambda_1 - \lambda_2) \\ \phi &= 2\lambda_1 \bar{\gamma}_{1V} + 2\lambda_2 \bar{\gamma}_{2V} - \lambda_1^2 \gamma_{11} + 2\lambda_1 \lambda_2 \gamma_{12} + \lambda_2^2 \gamma_{22} \\ &\quad - \gamma(V, V) + 2\mu(1 - \lambda_1 - \lambda_2) \end{aligned} \quad (4.6)$$

Diferensiasi persamaan di atas terhadap λ_1 menghasilkan

$$\frac{\partial \phi}{\partial \lambda_1} = 2\gamma_{1V} - 2\lambda_1 \gamma_{11} - 2\lambda_2 \gamma_{21} - 2\mu = 0. \quad (4.7)$$

dengan demikian diperoleh

$$\gamma_{1V} = \lambda_1 \gamma_{11} + \lambda_2 \gamma_{12} + \mu \quad (4.8)$$

Dengan cara yang sama diferensiasi ϕ terhadap λ_2 menghasilkan

$$\gamma_{2V} = \lambda_1 \gamma_{12} + \lambda_2 \gamma_{22} + \mu$$

Akhirnya, diferensiasi ϕ terhadap μ menghasilkan

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 1.$$

Karena nilai dari semivariogram dari data yang berjarak nol adalah nol, maka dari persamaan tersebut di atas dapat diperoleh :

$$\gamma_{1V} = \lambda_2 \gamma_{12} + \mu$$

$$\gamma_{2V} = \lambda_1 \gamma_{12} + \mu$$

Jadi bila kedua persamaan di atas dikurangkan, maka diperoleh :

$$\gamma_{1V} - \gamma_{2V} = \lambda_2 \gamma_{12} - \lambda_1 \gamma_{12}$$

Jika dimisalkan $\lambda_1 = \lambda$ maka $\lambda_2 = 1 - \lambda$, sehingga diperoleh

$$\lambda = \frac{1}{2} \left(\frac{\gamma_{2V} + \gamma_{1V}}{\gamma_{12}} + 1 \right)$$

akhirnya didapat :

$$\lambda_1 = \frac{1}{2} + \left(\frac{\gamma_{2V} + \gamma_{1V}}{2\gamma_{12}} \right) \quad \text{dan} \quad \lambda_2 = \frac{1}{2} + \left(\frac{\gamma_{1V} - \gamma_{2V}}{2\gamma_{12}} \right) \quad (4.9)$$

Untuk dapat menentukan nilai dari λ_1 dan λ_2 harus diketahui nilai-nilai dari γ_{1V} , γ_{2V} dan γ_{12} . Nilai dari γ_{12} adalah semivariogram dari kedua titik sampel yang menjadi acuan kriging sehingga dapat dengan mudah dicari, sedangkan untuk nilai semivariogram dari kedua titik sampel terhadap titik yang akan dikriging dapat dilakukan dengan taksiran semivariogram dari sampel dengan memilih model sferikal.

4.2 Simulasi Model Kriging untuk 2 Lokasi dengan Macro Excel

a. Penentuan Pasangan Data Sampel

Data ketebalan reservoir yang diperoleh dari survei lapangan, digunakan untuk simulasi program model kriging untuk 2 lokasi. Data ketebalan tiga sumur minyak bumi dipilih dari 83 sumur minyak yang disajikan pada lampiran.

Pemilihan dilakukan dengan kriteria adanya kemiripan ketebalan sumur. Ketiga sumur yang dipilih tersebut disajikan pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4.1 Koordinat Bawah dan Ketebalan Reservoir Tiga Sumur Di Lapangan Jatibarang

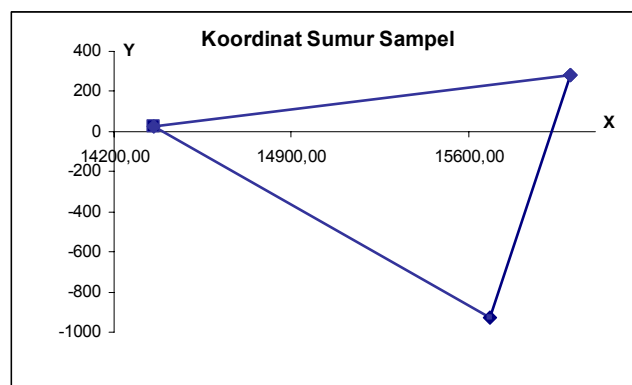
No. Sumur	X(m)	Y(m)	Ketebalan Reservoir (m)
JTB58	16003,00	279,91	326
JTB62	15684,40	-928,45	291
JTB68	14357,27	24,33	317

Dari Tabel 4.1 tersebut, dapat ditentukan jarak antar sumur minyak bumi di Lapangan Jatibarang. Hasilnya terdapat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jarak Antar Sumur (m)

No. Sumur	JTB58	JTB62	JTB68
JTB58	0	1249,66	1665,33
JTB62		0	1328,05
JTB68			0

Gambar dari ketiga sumur dalam sumbu koordinat tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.1.



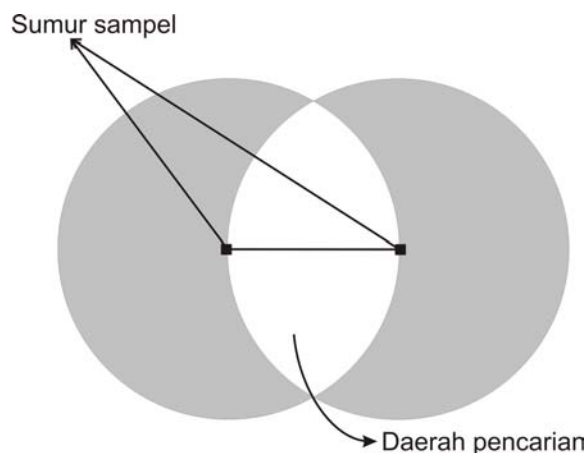
Gambar 4.1 Lokasi Sumur Dalam Sumbu Koordinat

Dari ketiga sumur minyak bumi yang dipilih tersebut kemudian dikombinasikan sepasang-sepasang untuk dijadikan sampel dalam melakukan studi kasus penaksiran lokasi sumur yang tidak tersampel dengan menggunakan pasangan sampel tersebut. Pasangan sampel tersebut adalah JTB58 dan JTB62, JTB58 dan JTB68, dan terakhir adalah JTB62 dan JTB68. Akan dibahas untuk pasangan JTB58 dan JTB62. Sebelum menggunakan GS-TAR kriging, maka data dianalisa dengan model ordinary kriging terlebih dahulu.

b. Penentuan Titik Sumur yang akan Ditaksir

Dalam menentukan titik-titik sumur yang akan ditaksir ada hal yang perlu diperhatikan. Penaksiran menggunakan metode kriging ini sangat dipengaruhi oleh faktor spasial, sehingga daerah pencarian atau titik sumur yang akan ditaksir harus berada pada radius dari kedua sumur sampelnya.

Gambaran daerah pencarian yang terdapat pada Gambar 4.2 di bawah ini menunjukkan bahwa apabila sumur minyak yang ditaksir berada pada daerah pencarian tersebut maka hubungan spasialnya sangat baik, sehingga tingkat akurasi prakiraan ketebalan reservoir sumur yang ditaksir cukup tinggi.



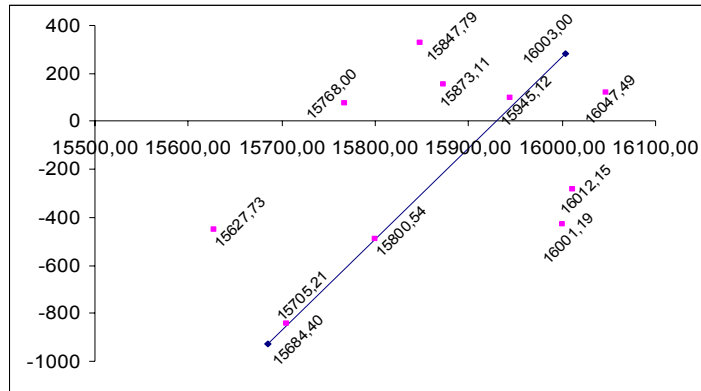
Gambar 4.2 Bagian yang tidak diarsir merupakan daerah pencarian yang mempunyai hubungan spasial sesuai dengan posisi lokasi

Dari ketiga pasangan sumur sampel yang sudah ditentukan diambil 10 titik sumur yang akan ditaksir ketebalan reservoirnya dengan menggunakan metode kriging. Titik-titik sumur yang akan ditaksir tersebut diambil secara acak dengan tidak melewati batas radius dari sumur sampel yang sudah ditentukan tadi. Data titik-titik yang akan ditaksir dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data koordinat sumur minyak yang akan ditaksir untuk pasangan data sumur sampel JTB58 dan JTB62

No	Data	
	Titik yang ditaksir	
	X	Y
1	15800,54	-490,21
2	15768,00	75,43
3	15847,79	324,84
4	15873,11	152,48
5	16047,49	121,15
6	15945,12	98,98
7	16012,15	-283,00
8	16001,19	-429,00
9	15705,21	-845,64
10	15627,73	-451,59

Posisi titik-titik berada pada sekitar pasangan sampel sumur minyak pada Gambar 4.1, Gambar 4.3 menunjukkan posisi sumur-sumur minyak yang akan ditaksir beserta pasangan sumur sampel.



Gambar 4.3 Koordinat titik-titik sumur minyak yang akan ditaksir untuk pasangan data sumur sampel JTB58 dan JTB62 pada sumbu koordinat

c. Penentuan Semivariogram Sumur Sampel

Jika sampel 1 adalah sumur sampel yang pertama dan sampel 2 adalah sumur sampel yang kedua sedangkan h_0 mewakili jarak sumur sampel yang pertama dengan sumur sampel yang kedua, h_1 mewakili jarak sumur sampel yang pertama dengan sumur yang ditaksir dan h_2 mewakili jarak sumur sampel yang kedua dengan sumur yang ditaksir maka Tabel 4.4

Tabel 4.4 Jarak sumur sampel (JTB58 dan JTB62) dengan sumur yang akan Ditaksir (dalam meter)

h_0	h_1	h_2
1249,66	796,29	453,37
	311,51	1007,35
	161,58	1263,90
	181,96	1097,28
	164,88	1110,63
	189,96	1059,99
	562,98	723,90
	708,91	591,44
	1164,28	85,38
	822,14	480,22

Jika γ_0 adalah nilai semivariogram taksiran untuk sumur sampel pertama dan sumur sampel kedua, γ_1 adalah nilai semivariogram taksiran sumur sampel pertama dengan sumur yang akan ditaksir, γ_2 adalah nilai semivariogram taksiran sumur sampel yang kedua dengan sumur yang akan ditaksir maka Tabel 4.5

Tabel 4.5 Nilai semivariogram taksiran sumur sampel (JTB58 dan JTB62) dengan titik-titik sumur yang akan ditaksir

γ_0	γ_1	γ_2
1512,50	963,77	548,73
	377,03	1219,24
	195,57	1512,50
	220,23	1328,07
	199,55	1344,23
	229,92	1282,95
	681,40	876,16
	858,02	715,84
	1409,16	103,34
	995,07	581,22

d. Penentuan Kombinasi Linier Taksiran Kriging

Jika λ_1 menyatakan kombinasi linear taksiran sumur sampel pertama terhadap sumur yang ditaksir dan λ_2 menyatakan kombinasi linear sumur sampel yang kedua dengan sumur yang ditaksir maka hasilnya perhitungan kombinasi linear taksiran kriging dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai kombinasi linear taksiran kriging sumur sampel (JTB58 dan JTB62) dengan titik-titik sumur yang akan ditaksir

λ_1	λ_2
0,36	0,64
0,78	0,22
0,94	0,06
0,87	0,13
0,88	0,12
0,85	0,15
0,56	0,44
0,45	0,55
0,07	0,93
0,36	0,64

e. Prakiraan Ketebalan Reservoir Sumur yang Tidak Tersampel

Dengan menggunakan kombinasi linear taksiran kriging dan ketebalan reservoir sumur sampel dapat ditaksir ketebalan reservoir titik-titik sumur yang akan ditaksir. Hasilnya dapat dilihat ada Tabel 4.7

Tabel 4.7 Hasil prakiraan ketebalan reservoir titik-titik sumur yang ditaksir dari pasangan sumur-sumur sampel.

\hat{Z}_1
271,05
248,19
239,56
243,36
242,69
244,35
259,96
266,09
287,24
271,02

Dari 10 titik-titik sumur yang akan ditaksir akan diperoleh 10 taksiran kriging. Kesepuluh model taksiran inilah yang akan dipakai untuk memprakirakan ketebalan reservoir suatu sumur taksiran. Jarak titik-titik sumur sampel dari sumur sampel sangat mempengaruhi nilai taksiran. Semakin dekat jarak kedua sumur sampel maka semakin mirip pula sifat-sifat reservoir sumur tersebut sehingga apabila dilakukan pencarian disekitar sumur tersebut akan mendapatkan sifat yang mirip pula.

4.3 Penerapan model GSTAR Kriging 2 lokasi

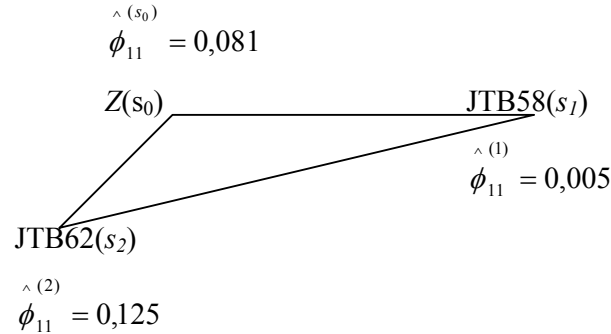
Untuk memperoleh gambaran bagaimana model GSTAR-Kriging dapat diterapkan pada data lapangan, dilakukan penerapan untuk 2 sumur minyak bumi. Pada tahap awal simulasi dipilih parameter space-time dari model GS-TAR(1;1) sebagai input kriging. Pemilihan taksiran parameter $\hat{\phi}_{11}^{(i)}$, didasarkan pada asumsi bahwa parameter tersebut merupakan parameter yang menggambarkan pengaruh space pada kelompok 1 dalam waktu 1 beda kala. Artinya parameter tersebut mewakili parameter spatio-temporal, yaitu pengaruh sumur-sumur pada kelompok 1 pada waktu satu bulan sebelumnya terhadap suatu sumur tertentu i pada waktu sekarang (t). Sedangkan parameter $\hat{\phi}_{10}^{(i)}$ menggambarkan pengaruh waktu satu bulan sebelumnya di setiap lokasi.

Untuk simulasi ini digunakan data sekunder meliputi koordinat bawah permukaan sumur-sumur JTB58, JTB62, dan JTB144 serta data produksi digunakan sebagai input dalam model GS-TAR kriging. Ruchjana (2002) memberikan taksiran $\hat{\phi}_{11}^{(i)}$ GS-TAR(1;1) untuk sumur JTB58 dan JTB62, yaitu 0,005 dan 0,125.

Dengan memperhatikan data koordinat bawah permukaan kedua sumur yang diperoleh dari data lapangan Jatibarang, diperoleh jarak antara 2 sumur pengamatan, yaitu:

Tabel 4.8 Koordinat Bawah Permukaan 2 Sumur Pengamatan

Sumur	x (m)	y (m)
JTB58	16003	-279
JTB62	15684	-928



Gambar 4.4 Simulasi Model GSTAR-Kriging 2 Lokasi

Simulasi dilakukan menggunakan excel, untuk koordinat sumur yang dipilih sebagai sampel kringing (15700,-400) diperoleh taksiran $\hat{\phi}_{11}^{(s_0)} = 0,081$. Nilai taksiran ini mendekati nilai $\hat{\phi}_{11}^{(s_2)} = 0,125$, karena jaraknya lebih dekat pada sumur kedua, yaitu 328,1 m dibandingkan dengan sumur pertama 528,4 m. Selanjutnya dapat diperoleh taksiran parameter GS-TAR(1;1) pada lokasi-lokasi lain di sekitar kedua sumur pengamatan, dengan memasukkan input berupa koordinat bawah permukaan yang terletak pada peta lokasi.

4.4 Kekurangan dan Kelebihan Pelaksanaan Riset

Dalam studi pengembangan teori, pelaksanaan penelitian masih terbatas pada model GSTAR-Kriging dua sumur. Namun demikian, sampai pada penelitian ini telah dapat dikembangkan perangkat lunak penaksiran parameter model GSTAR(1;1) untuk N lokasi dan model GSTAR-Kriging untuk 2 sumur. Hal ini

menunjukkan masih perlunya penelitian lanjutan untuk studi model spatio-temporal di bidang perminyakan khususnya. Namun demikian, dari penelitian ini telah diperoleh pengembangan model dan perangkat lunak penaksiran model GSTAR dan GSTAR-Kriging. Hasil-hasil yang diperoleh telah disajikan dalam berbagai seminar baik lokal, nasional, maupun internasional sehingga diperoleh berbagai masukan untuk penyempurnaan penelitian ini.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Model Generalisasi Space Time Autoregresi (GSTAR) merupakan suatu metode pendekatan kuantitatif proses spatio-temporal. Model GSTAR memberikan informasi prediksi spasial dan prediksi temporal suatu fenomena stokastik (time dependent dan spatially correlated). Proses spatio-temporal sesuai diterapkan pada fenomena produksi minyak bumi. Aliran (flow) minyak bumi yang merupakan perpindahan dari suatu sumur ke sumur lain merupakan fenomena spatio-temporal. Fluktuasi kinerja produksi sumur produksi minyak berkaitan erat dengan mekanika aliran fluida reservoir. Karakterisasi reservoir merupakan fenomena yang sesuai untuk pemodelan proses spatio-temporal melalui model GSTAR.

Karakterisasi geologi reservoir menunjukkan reservoir Jatibarang merupakan reservoir heterogen. Model GSTAR merupakan pengembangan dari model STAR memungkinkan kuantifikasi heterogenitas reservoir. Dalam model STAR diasumsikan homogenitas profil produksi sumur. Hal ini berarti model STAR hanya berlaku untuk sumur-sumur dengan karakteristik spasial yang serba sama. Penerapan model GSTAR pada data produksi minyak bumi memberikan hasil cukup signifikan. Model GSTAR dikembangkan dengan asumsi adanya heterogenitas karakteristik spasial dari sumur-sumur pengamatan. Dengan demikian model GSTAR lebih realistis untuk digunakan pada data lapangan Jatibarang. Namun, dalam prakteknya model GSTAR hanya dapat digunakan untuk prediksi produksi di sumur-sumur yang tersampel.

Pengembangan model GSTAR menjadi model GSTAR-Kriging yang merupakan gabungan model GSTAR dengan teknik kriging merupakan suatu pendekatan model spatio-temporal yang dapat digunakan untuk prediksi produksi di sumur-sumur yang tidak tersampel. Studi kuantifikasi melalui model GSTAR-Kriging memberikan prediksi kuantifikasi laju produksi sumur. Keterbatasan perangkat

lunak di lapangan diatasi dengan membangun perangkat lunak yang *user friendly* menggunakan macro excel dengan visual basic.

Perangkat lunak yang dibangun untuk penaksiran parameter model GSTAR untuk N sumur dan model GSTAR-Kriging untuk 2 sumur menggunakan macro excel memberikan kontribusi untuk penerapan model spatio-temporal pada data lapangan. Penerapan model GSTAR-Kriging yang merupakan integrasi studi spatial dengan model spatio-temporal diharapkan meningkatkan akurasi prediksi cadangan dan aliran fluida. Penerapan berkelanjutan pemodelan proses spatio-temporal melalui model GSTAR-Kriging diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam inventarisasi cadangan minyak bumi dan manajemen reservoir minyak bumi dalam jangka panjang.

BIBLIOGRAFI

- 1 Armstrong, M. , (1998), *Basic Linear Geostatistics*, New York: Springer-Verlag.
- 2 Besag, J.S., (1974), Spatial interaction and the statistical analysis of lattice system, *J. Roy. Statist. Soc. B*, **Vol. 36**, p. 197-242.
- 3 Borovkova, S.A.; Lopuhaä, H.P.; Nurani, B.R, Prediction of Oil Production using the Generalized Space-Time Autoregressive Model, Proceedings of the European Conference on Mathematical Industry, TU Eindhoven, 2004, the Netherlands
- 4 Borovkova, S. A., LopuhaTM, and Ruchjana, B.N., (2002), Generalized S-TAR with Random Weights. *Proceeding of the 17th International Workshop on Statistical Modeling*, Chania-Greece.
- 5 Borovkova, S. A., LopuhaTM, and Ruchjana, B.N., (2005), The Space Time Autoregressive Models, Workshop on Space Time Models and Its Applications, Bandung, 2-4 Agustus 2005
- 6 Box, G.E.P. and Jenkins, G.M., (1976), *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, Holden-Day, Inc., San Fransisco.
- 7 Cliff, A.D. and Ord, K., (1975), Model building and the analysis of spatial pattern in human geography, *J. Roy. Statist. Soc. B*, **Vol. 37**, p. 297-348.
- 8 Cressie, N., (1993), *Statistics for Spatial Data*, John Wiley & Sons., Inc., New York.
- 9 Darwis, S. and Ruchjana, B. N., (2005). A Study of Some Aspects of Space-Time Models, *Proceeding of International Conference on Applied Mathematics*, ISBN: 90-365-2244-7, Bandung: ITB, 22-26 August 2005.
- 10 Deutsch, C.V. and Journel, A.G., (1992), *Geostatistical Software Library and User's Guide (GSLIB)*, New York: Oxford University Press.
- 11 Hannan, E.J. , (1970), *Multiple Time Series*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- 12 Pfeifer, P.E., (1979), *Spatial Dynamic Modeling*, unpublished Ph.D Dissertation, Georgia Institute of Technology, Georgia.
- 13 Pfeifer, P. E. and Deutsch, S. J. , (1980) , Stationarity and invertibility regions for low order STARMA models, *Communications in Statistics-Simulation and Computation* **9 (5)**, p. 551-562.

- 14 Ruchjana, B.N. , et. al, (1999), The Study of the Location Weighted Matrix In the First Order Space-Time Autoregressive Model. *Proceeding of the SEAMS-GMU International Conference on Mathematics and Its Applications*, Sri Wahyuni, et. al., Editor, UGM , Yogyakarta, p. 408-417.
- 15 _____, (2001), Study on the Weight Matrix in the Space-Time Autoregressive Model, *Proceeding of the Tenth International Symposium on Applied Stochastic Models and Data Analysis (ASMDA)*, Gerard Govaert, et. al., Editor, Universite de Technologie Compiegne, Perancis, **Vol. 2/2**, p. 789-794.
- 16 _____, (2002b), *Suatu Model Generalisasi Space-Time Autoregresi dan Penerapannya pada Produksi Minyak Bumi*, Disertasi S3, Departemen Matematika PPS ITB, Bandung: ITB.
- 17 _____, (2003), The Stationary Conditions of the Generalized Space-Time Autoregressive Model. *Proceeding of Mathematics Conference and Its Applications, SEAMS-GMU*, Yogyakarta, 14-17 July 2003.
- 18 _____, Darwis, S. (2004), Kajian Model Generalisasi Space Time Autoregresi Kriging untuk Karakterisasi Reservoir Minyak Bumi, *Prosiding Konferensi Nasional Matematika XII, Bali: Universitas Udayana*, Juli 2004.
- 19 _____, Darwis, S. (2005), Penggunaan metode kriging untuk prediksi ketebalan reservoir di lokasi sumur yang tidak tersampel, *Prosiding Seminar Nasional Matematika*, UI-Depok, 30 Juli 2005.
- 20 _____, Darwis, S. (2005), Oil Well Placement using the GSTAR-Kriging Method, *Open Science Meeting*, Yogyakarta 27029 Sptember 2005.
- 21 Shahab, I. , et. al, (1998), Heterogeneity of Jatibarang Volcanic Rock Related to Oil Recovery , *Paper presented in Industrial Mathematics Week* , P4M ITB, Bandung
- 22 Siregar, S., (2002), Heterogeneities in oil , gas & geothermal reservoirs, Hand out Workshop on Geostatistics, PT Fiqry Jaya Mandiri, Hotel Holiday Inn, Bandung, 12-15 Februari 2002.
- 23 Wei, W.W.S., (1990), *Time Series Analysis Univariate and Multivariate Methods*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., New York

LAMPIRAN