

Pemodelan Distribusi Temperatur terhadap Kedalaman Laut di Selatan Pulau Jawa dengan Metode Gauss - Newton

Maruta Prima Jaya^a, M. Ishak Jumarang^a, Joko Sampurno^{a*}

^aJurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tanjungpura
Jalan Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak, Indonesia

* Email : jokosampurno@physics.untan.ac.id

Abstrak

Sebuah model distribusi temperatur terhadap kedalaman laut di Selatan Pulau Jawa menggunakan metode Gauss – Newton telah dibangun dalam penelitian ini. Data yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari NODC NOAA. Titik koordinat pertama terletak di 8° 13' 1.20" °LS dan 105° 32' 60.0" °BT. Titik kedua terletak di 7° 35' 60.0" °LS dan 105° 19' 58.8" BT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model terbaik untuk titik pertama adalah deret Gaussian orde 2. Sedangkan pada titik kedua, model terbaik pada deret Gaussian orde 3. Nilai koefisien korelasi dan RMSE validasi antara data uji dan kalkulasi titik pertama adalah 0,9911 dan 0,7793. Nilai koefisien korelasi dan RMSE validasi antara data uji dan kalkulasi titik kedua adalah 0,9860 dan 0,782. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa deret Gaussian orde 2 dan 3 telah memenuhi syarat pemodelan distribusi temperatur terhadap kedalaman laut untuk memprediksi temperatur pada kedalaman tertentu hingga dasar laut.

Kata Kunci: *Deret Gaussian, Gauss - Newton, kedalaman laut, temperatur laut*

1. Pendahuluan

Kebutuhan data geofisika kelautan di tepi pulau Jawa memperlihatkan kecenderungan yang meningkat akibat semakin maraknya kegiatan eksplorasi sumber daya mineral dan energi di daerah tersebut. Secara geografis, perairan Selatan pulau Jawa terletak di antara antara lempeng tektonik Eurasia dan Indo-Australia. Letak tersebut menyebabkan dasar laut wilayah ini menjadi lokasi terjadinya proses pergeseran lempeng. Hal ini mempengaruhi arus konveksi perpindahan kalor. Kondisi ini mempengaruhi temperatur tiap kedalaman laut [1].

Berdasarkan perubahan temperatur terhadap kedalaman laut, laut terdiri dari lapisan homogen, termoklin dan laut dalam. Lapisan homogen pada daerah tropis dapat mencapai kedalaman 50 s.d 100 m dengan temperatur berkisar 26 s.d 30 °C dan gradien tidak lebih dari 0,03 °C/m. Lapisan termoklin terdiri dari 2 lapisan yaitu lapisan termoklin atas (*main thermocline*) dan termoklin bawah (*secondary thermocline*). Rata-rata penurunan temperatur termoklin atas dapat mencapai 9,5 °C/100 m, sedangkan pada termoklin bawah mencapai 1,3 °C /100 m. Lapisan laut dalam daerah tropis kisaran temperatur di lapisan ini antara 2 s.d 4 °C [2].

Faktor – faktor pengelolaan sumber daya laut dan pemanasan global dapat ditinjau dari variabilitas temperatur laut tiap kedalamannya. Variabilitas temperatur laut terjadi di tiap

kedalaman yang disebabkan oleh berbagai aspek antara lain: reaksi kimia dan proses biologi [3].

Temperatur merupakan salah satu parameter fisik laut yang sangat penting karena secara langsung dapat mempengaruhi laju fotosintesis fitoplankton dan proses fisiologi hewan, terutama metabolisme dan siklus reproduksi. Secara tidak langsung, temperatur juga mempengaruhi daya larut oksigen yang digunakan dalam proses respirasi organisme laut [4].

Metode Gauss - Newton dengan fungsi deret Gaussian digunakan pada penelitian ini. Deret Gaussian mampu menjelaskan berbagai banyak proses dalam ilmu matematika, teknik dan fisika, menjadikannya sangat berguna dalam bidang pemrosesan sinyal dan gambar [5]. Metode Gauss - Newton dapat meminimumkan jumlah kuadrat galat. Konsep yang mendasari teknik tersebut adalah uraian deret Taylor yang digunakan untuk menyatakan persamaan nonlinier semula dalam bentuk hampiran yang linier. Dengan demikian, teori kuadrat terkecil dapat digunakan untuk memperoleh taksiran-taksiran baru dari parameter yang bergerak ke arah yang meminimumkan galat tersebut [6].

Pada penelitian ini, pemodelan distribusi temperatur terhadap kedalaman laut di Selatan pulau Jawa telah dimodelkan dengan fungsi deret Gaussian yang diinversi melalui metode Gauss-Newton. Data yang digunakan dalam pemodelan ini adalah data XBT.

2. Metodologi

2.1 Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diukur oleh *expendable bathythermograph* (XBT) meliputi data temperatur terhadap kedalaman laut pada dua titik koordinat. Titik koordinat pertama terletak pada 8° 13' 1.20" °LS dan 105° 32' 60.0" °BT. Titik koordinat kedua terletak pada 7° 35' 60.0" °LS dan 105° 19' 58.8" °BT. Titik pertama pada tanggal 31 Desember 2014, 12 April 2011 dan 11 April 2004. Titik kedua pada tanggal 1 Januari 2015, 25 Juli 2012 dan 29 Januari 1992. Pada penelitian ini, profil temperatur terhadap kedalaman didapat dari XBT dimodelkan dengan Metode Gauss-Newton. Fungsi forward modelling yang digunakan adalah fungsi Gaussian. Letak titik koordinat yang dimodelkan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Dua titik koordinat uji [7]

2.2 Metode Pengolahan Data

1. Pencocokan Kurva

Karakteristik distribusi temperatur terhadap kedalaman laut ditentukan dengan melakukan pencocokan kurva observasi dan kalkulasi. Kurva data observasi didekati dengan kurva kalkulasi hasil dari fungsi yang dianggap menggambarkan pola grafik tersebut. Fungsi yang terpilih akan mewakili karakteristik distribusi temperatur terhadap kedalaman laut.

Tebakan awal (m_0) membentuk fungsi pemodelan awal ($g(m_0)$). Fungsi yang digunakan pada tebakan awal dalam penelitian ini adalah deret Gaussian dengan Persamaan 1 sebagai berikut:

$$g(m) = \sum_{i=1}^o a_i e^{\left(\frac{x-b_i}{c_i}\right)^2} + d \quad (1)$$

Ket:

- $g(m)$ = fungsi pemodelan
- o = orde
- i = 1,2,3,...,n
- x = x_{obs}
- (a_i b_i c_i d) = m = model awal

2. Kalkulasi Data

Fungsi pemodelan baru ($g(m_n)$) dibentuk dari tebakan baru (m_n) dengan menggunakan Metode Gauss - Newton. Tebakan baru (m_n) dihasilkan dari tebakan awal (m_0) ditambah dengan selisih model (Δm). Persamaan metode Gauss-Newton ditulis pada Persamaan 2 sebagai berikut:

$$\Delta m = [J^T J]^{-1} J^T (y_{obs} - g(m)) \quad (2)$$

dengan $m = m_0 + \Delta m$

Ket:

- Δm = selisih model.
- J = matriks Jacobi
- J^T = transpos matriks Jacobi
- y_{obs} = data temperatur (T)
- $g(m)$ = fungsi pemodelan
- m_0 = tebakan awal
- m_n = model baru

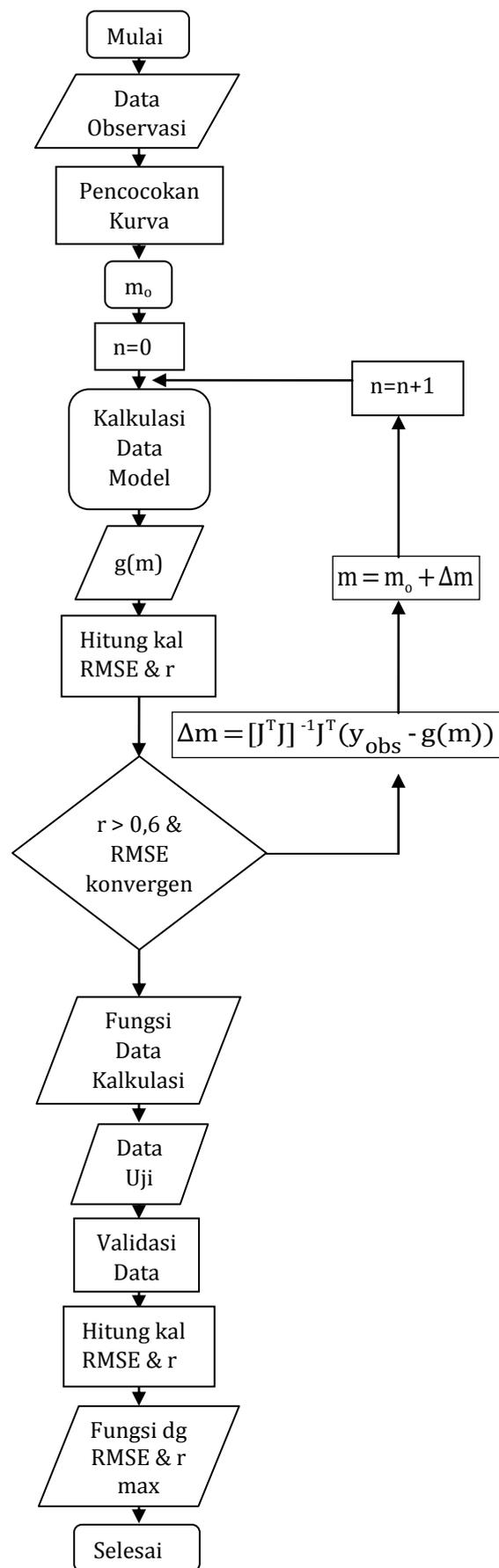
Data observasi dan data kalkulasi akan digunakan pada proses kalkulasi. Proses kalkulasi memiliki syarat *Root Mean Square Error* (RMSE) dan koefisien korelasi. RMSE merupakan suatu ukuran kesalahan yang didasarkan pada selisih antara dua buah nilai yang bersesuaian, yang didefinisikan sebagai Persamaan 3 [7] :

$$RMSE = \sum \frac{(y_{obs} - y_{cal})^2}{N} \quad (3)$$

Ket:

- y_{obs} = data temperatur (T)
- y_{cal} = $g(m)$ = fungsi pemodelan
- N = jumlah data

Syarat fungsi pemodelan memiliki grafik nilai RMSE konvergen menuju nilai yang lebih kecil. Pada proses kalkulasi, parameter model diinput ke dalam fungsi yang terpilih dan menghasilkan fungsi data kalkulasi yang diharapkan dapat mendekati data observasi. Estimasi akan diterima jika nilai RMSE antara data observasi dengan data kalkulasi yang diperoleh menuju nilai yang lebih kecil. Sebaliknya jika nilai RMSE antara data observasi dengan data kalkulasi yang diperoleh menuju nilai yang lebih kecil dilakukan teknik penghalusan (*smoothing*) untuk mendapatkan grafik RMSE yang konvergen menuju nilai yang lebih kecil. Syarat kedua yaitu koefisien korelasi. Dalam penelitian ini, dipakai rumus Pearson r correlation dalam bivariate model di Persamaan 4 berikut [8] :



Gambar 2 Diagram Pengolahan Data

$$r = \frac{N \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{[N(\sum X^2) - (\sum X)^2][N(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}} \quad (4)$$

Ket:

- r = koefisien korelasi
- N = jumlah data
- X = y_{obs} = data temperatur (T)
- Y = y_{cal} = $g(m)$ = fungsi pemodelan

Jika koefisien korelasi antara data observasi dengan data model kalkulasi > 0,6 maka model telah memenuhi tingkat koefisien korelasi kuat sehingga dianggap mampu mewakili data observasi sebenarnya. Berikut ini adalah tabel nilai koefisien korelasi dapat dilihat di Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Nilai Koefisien Korelasi [9]

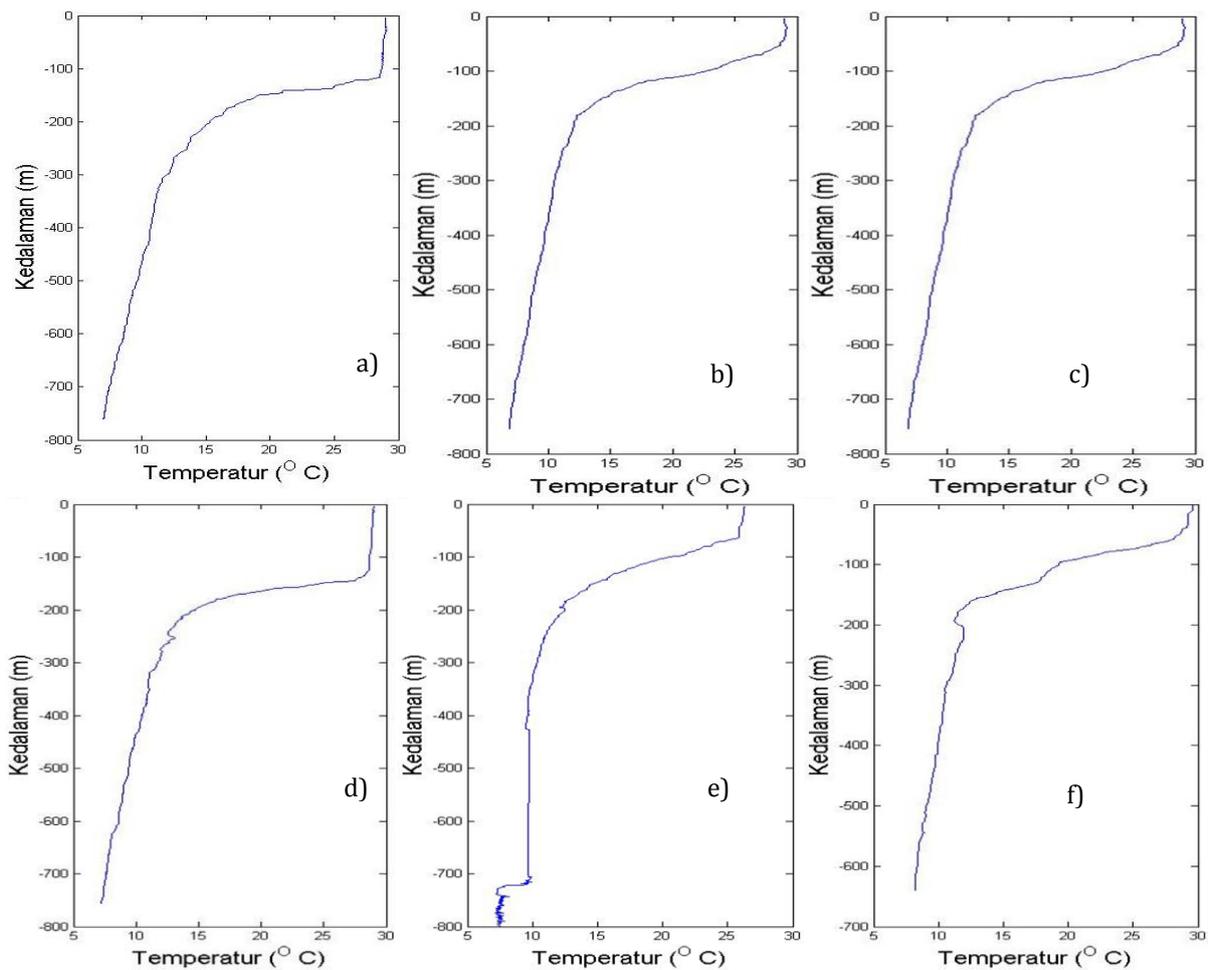
Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,000 s.d 0,199	Sangat Rendah
0,200 s.d 0,399	Rendah
0,400 s.d 0,599	Sedang
0,600 s.d 0,799	Kuat
0,800 s.d 1,000	Sangat Kuat

3. Validasi Data

Validasi dilakukan dengan membandingkan data uji dan data kalkulasi yang dihasilkan Metode Gauss - Newton. Validasi digunakan supaya menemukan keakuratan tertinggi data kalkulasi yang dihasilkan dengan data uji. RMSE terkecil dan koefisien korelasi terkecil dibentuk dari proses validasi data uji dan data kalkulasi. Metode pengolahan data ditampilkan pada gambar diagram pengolahan data pada Gambar 2.

3. Hasil dan Pembahasan

Adapun gambar data observasi di titik koordinat 1 dan 2 pada Gambar 3. Gambar 3a sampai 3f memperlihatkan perubahan temperatur terhadap kedalaman laut. Lapisan - lapisan kedalaman laut berdasarkan temperturnya adalah permukaan campuran, termoklin dan laut dalam. Lapisan permukaan campuran memiliki suhu tertinggi di lautan dengan kedalaman 0 s.d 150 m.



Gambar 3. Kurva Observasi. (a) Titik koordinat 1 tanggal 31 Desember 2014, (b) Titik koordinat 1 tanggal 12 April 2011, (c) Titik koordinat 1 tanggal 11 April 2004, (d) Titik koordinat 2 tanggal 1 Januari 2015, (e) Titik koordinat 2 tanggal 25 Juli 2012, (f) Titik koordinat 2 tanggal 29 Januari 1992

Gambar 3d memiliki lapisan permukaan campuran terdalam sedangkan Gambar 3f memiliki lapisan permukaan campuran terdangkal. Lapisan termoklin memiliki gradien penurunan temperatur paling tinggi. Lapisan laut dalam mempunyai temperatur terendah pada lautan. Gambar 3c menunjukkan temperatur terendah sekitar 6°C dibanding data lainnya.

3.1 Tebakan Awal

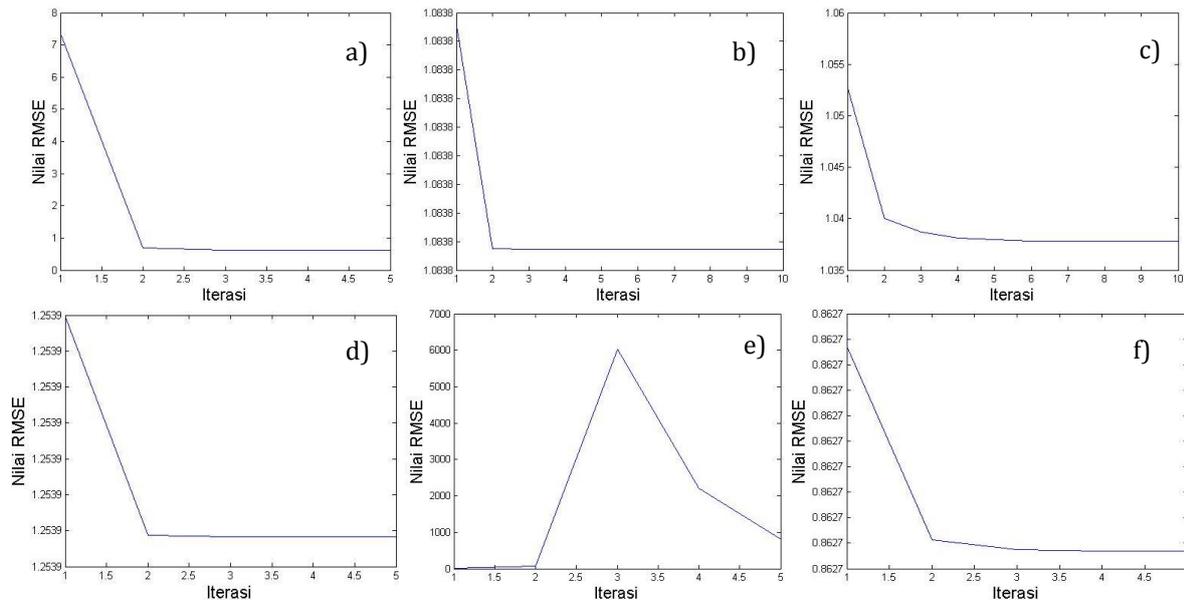
Fungsi matematis yang terpilih dicocokkan dengan grafik data observasi. Fungsi Gaussian orde 2 s.d 8 dipilih dalam penelitian ini. Parameter fungsi ini membutuhkan tebakan awal sebagai masukan di algoritma Gauss-Newton. Adapun tebakan/parameter model awal yang telah melalui Metode Gauss - Newton dari fungsi yang terpilih deret Gaussian orde 2 titik koordinat 1 tanggal 31 Desember 2014 ditampilkan di Tabel 2 dan orde 3 titik koordinat 2 tanggal 1 Januari 2015 ditampilkan di Tabel 3:

Tabel 2 Parameter Awal Orde 2

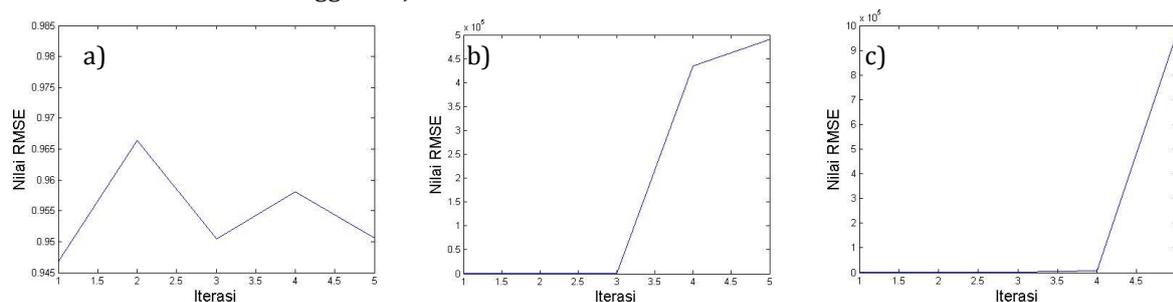
Parameter	Nilai
a1	14,67
b1	64,2
c1	99,57
a2	8,67e13
b2	-5,2e4
c2	9706
d	1

Tabel 3 Parameter Awal Orde 3

Parameter	Nilai
a1	14,16
b1	44,56
c1	102,80
a2	7,71
b2	131,70
c2	35,96
a3	8,95e13
b3	-5,57e4
c3	1,03e4
d	1



Gambar 4. Grafik RMSE iterasi ke-5 orde 2. (a) Titik koordinat 1 tanggal 31 Desember 2014, (b) Titik koordinat 1 tanggal 12 April 2011, (c) Titik koordinat 1 tanggal 11 April 2004, (d) Titik koordinat 2 tanggal 1 Januari 2015, (e) Titik koordinat 2 tanggal 25 Juli 2012, (f) Titik koordinat 2 tanggal 29 Januari 1992



Gambar 5. Grafik RMSE tak konvergen (a) orde 8 titik koordinat 1 12 April 2011, (b) orde 8 titik koordinat 2 25 Juli 2012, (c) orde 5 titik koordinat 2 29 Januari 1992

3.2 Kalkulasi Model

Parameter awal membentuk data kalkulasi yang dicocokkan dengan data observasi. Jika belum cocok, parameter model baru dibentuk tiap iterasi untuk teknik penghalusan (*smoothing*). Penghalusan berfungsi untuk mengecilkan RMSE dan meningkatkan nilai koefisien korelasi. Syarat pertama model baru adalah nilai RMSE antara data kalkulasi dan data observasi menuju 0 (konvergen). Jika nilai RMSE tidak konvergen maka solusi yang dihasilkan bukan yang terbaik. Nilai RMSE deret Gaussian orde 2 ditampilkan pada Tabel 4. Grafik RMSE deret Gaussian orde 2 ditampilkan pada Gambar 4.

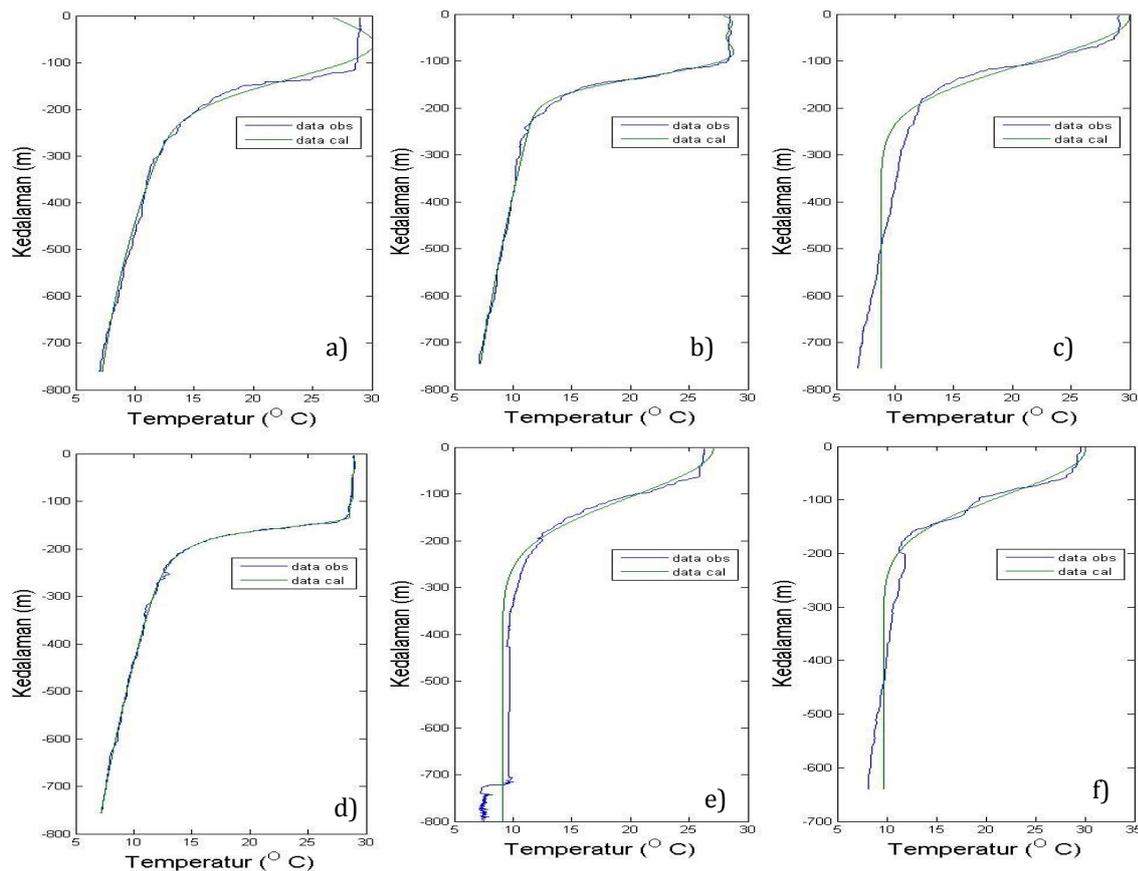
Tabel 4 menampilkan nilai RMSE deret Gaussian orde 2 pada iterasi ke-5. Nilai RMSE pemodelan pada data kalkulasi titik koordinat 2 tanggal 31 Desember 2014 yang terkecil sebesar 0,6229. Nilai RMSE terbesar adalah 813,54 pada

data kalkulasi titik koordinat 2 tanggal 25 Juli 2012.

Tabel 4 Tabel RMSE Data Kalkulasi Orde 2

Titik Koordinat	Tanggal	RMSE
1	31-12-2014	0,6299
	12-4-2011	1,0838
2	11-4-2004	1,0379
	1-1-2015	1,2539
	25-7-2012	813,54
	1992-1-29	0,8627

Ini dikarenakan nilai yang bersifat tidak konvergen yang tampak pada Gambar 4e. Selain grafik RMSE iterasi ke-5 orde 2 tanggal 25 Juli 2012, grafik RMSE yang tak konvergen berada pada grafik RMSE orde 8 titik koordinat 1 12 April 2011, orde 8 titik koordinat 2 25 Juli 2012, orde 5 titik koordinat 2 tanggal 29 Januari 1992 ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 6. Kurva kalkulasi & observasi orde 2. (a) Titik koordinat 1 tanggal 31 Desember 2014, (b) Titik koordinat 1 tanggal 12 April 2011, (c) Titik koordinat 1 tanggal 11 April 2004, (d) Titik koordinat 2 tanggal 1 Januari 2015, (e) Titik koordinat 2 tanggal 25 Juli 2012, (f) Titik koordinat 2 tanggal 29 Januari 1992

Selanjutnya pemodelan harus memenuhi nilai koefisien korelasi > 0,6. Grafik perbandingan data kalkulasi dan data observasi yang memiliki nilai terbesar pada data di titik koordinat 1 dan 2 ditampilkan pada Gambar 6. Perbandingan koefisien korelasi kalkulasi yang memiliki nilai terbesar tiap data ditampilkan di Tabel 5.

Tabel 5 Tabel Nilai Koefisien Korelasi Data Kalkulasi dari Titik Koordinat

	Tanggal	Orde	
		2	3
1	31-12-2014	0,9957	0,9839
	12-4-2011	0,9868	0,9993
	11-4-2004	0,9848	0,9848
2	1-1-2015	0,9844	0,9994
	25-7-2012	0,8296	0,9885
	1992-1-29	0,9900	0,9900

Dari Tabel 5, nilai koefisien korelasi kalkulasi terbaik titik koordinat 1 adalah 0,9957.

Nilai tersebut dari pemodelan deret Gaussian orde 2 pada tanggal 31 Desember 2014. Plotnya di Gambar 6a. Nilai koefisien korelasi kalkulasi terbaik titik koordinat 2 adalah 0,9994. Nilai tersebut dari pemodelan deret gaussian orde 3 pada tanggal 1 Januari 2015. Plotnya di Gambar 6d.

Pemodelan deret Gaussian yang memenuhi syarat nilai koefisien korelasi > 0,6 dan nilai RMSE bersifat konvergen menjadi masukan proses validasi.

3.3 Proses Validasi

Proses validasi membandingkan data kalkulasi dengan data ujinya. Data kalkulasi ialah data hasil perhitungan data observasi (± 4 m s.d ± 700 m) dengan Metode Gauss-Newton. Data uji berupa data titik koordinat 1 dan 2 dari kedalaman ± 700 m s.d ± 800 m. Nilai yang dihitung pada proses validasi adalah nilai koefisien korelasi dan RMSE. Tabel validasi koefisien korelasi dan RMSE di Tabel 6:

Tabel 6 Tabel Validasi Koefisien Korelasi dan RMSE Gaussian Orde 2

Tanggal	Koefisien Korelasi	RMSE
31-12-2014	0,9911	0,7793
12-4-2011	0,7167	2,1603
11-4-2004	0,6873	2,2614
1-1-2015	0,8769	2.3273
25-7-2012	-	-
1992-1-29	0,9581	1,8133

Tabel 7 Tabel Validasi Koefisien Korelasi dan RMSE Gaussian Orde 3

Tanggal	Koefisien Korelasi	RMSE
31-12-2014	0,8542	2,3687
12-4-2011	0,9863	0,7954
11-4-2004	0,6602	2,3131
1-1-2015	0,9860	0,7826
25-7-2012	0,7377	2,3326
1992-1-29	0,9581	1,8133

Nilai koefisien korelasi terbaik adalah paling mendekati nilai 1 (semakin besar). Nilai RMSE terbaik adalah mendekati nilai 0 (semakin kecil). Dari Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi terbesar titik koordinat 1 adalah 0,9911 di pemodelan deret Gaussian orde 2. Nilai RMSE terkecil di titik koordinat 1 adalah 0,7793 di pemodelan deret Gaussian orde 2. Pada Tabel 7, nilai koefisien terbesar di titik koordinat 2 adalah 0,9860 di pemodelan deret Gaussian orde 3. Nilai RMSE terkecil di titik koordinat 2 adalah 0,7826 di pemodelan deret Gaussian orde 3.

Hasil perbandingan data kalkulasi terhadap data uji titik koordinat 1 dan 2 menghasilkan deret Gaussian orde 2 dan 3 sebagai hasil terbaik proses validasi yang memiliki nilai koefisien korelasi terbesar dan RMSE terkecil. Selanjutnya model ini digunakan untuk membuat prediksi temperatur hingga dasar laut.

3.4 Prediksi Data

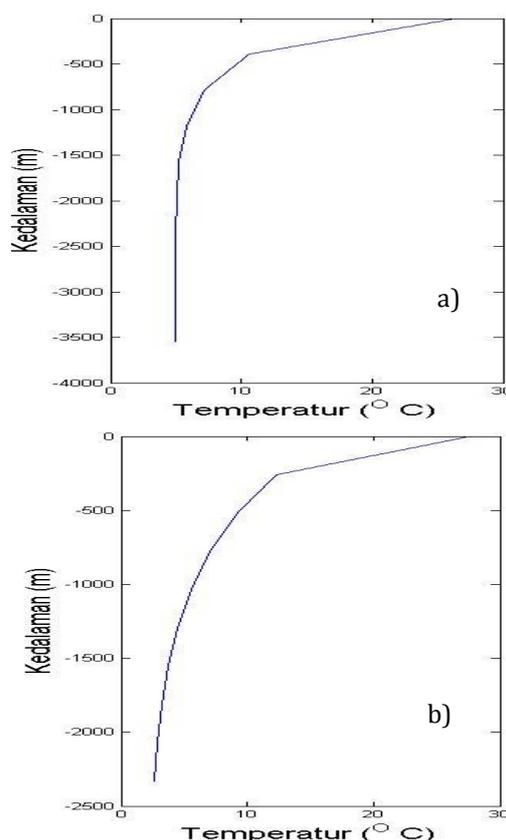
Pemodelan deret Gaussian terbaik dari proses validasi diplot hingga dasar kedalaman laut tiap titik koordinatnya. Data titik koordinat 1 dimodelkan dengan deret Gaussian orde 2. Data titik koordinat 2 dimodelkan dengan deret Gaussian orde 3.

Prediksi distribusi temperatur terhadap kedalaman laut disajikan dalam bentuk persamaan matematis serta plotnya. Persamaan deret Gaussian orde 2 untuk titik koordinat 1 ditulis secara matematis di Persamaan 3, plotnya di Gambar 7a. Persamaan deret Gaussian orde 3 untuk titik koordinat 2 ditulis

secara matematis di Persamaan 4 dengan plot di Gambar 7b:

$$f(x) = 14,67e^{\left(\frac{x-64,2}{99,57}\right)^2} + 8,67 \cdot 10^{13} e^{\left(\frac{x+5,2 \cdot 10^4}{9706}\right)^2} + 4,91 \quad (3)$$

$$f(x) = 14,16e^{\left(\frac{x-44,56}{102,8}\right)^2} + 7,71 \cdot 10^{13} e^{\left(\frac{x-131,7}{35,96}\right)^2} + 8,95 \cdot 10^{13} e^{\left(\frac{x+5,57 \cdot 10^4}{1,03 \cdot 10^4}\right)^2} + 1,62 \quad (4)$$



Gambar 7 Grafik Prediksi (a) Grafik Gaussian orde 2 titik koordinat 1, (b) Grafik Gaussian orde 3 titik koordinat 3

Gambar 7a menggambarkan pemodelan distribusi temperatur di titik koordinat 1 terhadap kedalaman laut sedalam 3548 m. Suhu di kedalaman 3548 m di pemodelan ini diprediksi sebesar 4,92 °C. Gambar 7b

menampilkan pemodelan distribusi temperatur di titik koordinat 2 terhadap kedalaman laut sedalam 2331 m. Suhu di kedalaman 2331 m pada pemodelan ini diprediksi sebesar $2,62^{\circ}\text{C}$. Steele & Thorpe, 2009 menerangkan bahwa pada lapisan abisal (1000 – 6000 m) temperatur laut berkisar 2 s.d 4°C . Kisaran temperatur tersebut sesuai dengan hasil pemodelan distribusi temperatur terhadap kedalaman laut di titik koordinat 1 dan 2.

4. Kesimpulan

Pemodelan distribusi temperatur laut terhadap kedalaman telah menghasilkan nilai terbaik untuk data titik koordinat 1 dan 2 dari Metode Gauss-Newton deret Gaussian orde 2 s.d 8. Hasil terbaik titik koordinat 1 dimodelkan oleh Metode Gauss - Newton pada deret Gaussian orde 2. Nilai koefisien korelasi dan RMSE kalkulasi titik koordinat 1 adalah 0,9957 dan 0,6299. Nilai korelasi dan RMSE validasi titik koordinat 1 adalah 0,9911 dan 0,7793.

Titik koordinat 2 memperoleh nilai terbaik setelah dimodelkan dengan Metode Gauss-Newton pada deret Gaussian orde 3. Nilai korelasi dan RMSE kalkulasi titik koordinat 2 adalah 0,9994 dan 0,2443. Nilai korelasi dan RMSE validasi titik koordinat 2 adalah 0,9860 dan 0,7826.

Berdasarkan hasil penelitian tersebut, maka dapat diambil kesimpulan bahwa Metode Gauss-Newton dengan deret Gaussian orde 2 dan 3 di titik koordinat 1 dan 2 menghasilkan nilai koefisien korelasi dan RMSE terbaik pada pemodelan distribusi temperatur terhadap kedalaman laut di Selatan pulau Jawa.

Daftar Pustaka

- [1] Yoga B. RB, Setyono H, Harsono G. 2014. Dinamika Upwelling dan Downwelling berdasarkan Variabilitas Suhu Permukaan Laut dan Klorofil-A di Perairan Selatan Jawa. *J-OCE*; 3(1): p. 57-66.
- [2] Steele JH, Thorpe SA. 2009. *Elements of Physical Oceanography: A Derivative of the Encyclopedia of Ocean Sciences*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Ltd.
- [3] Hidayat S, Purba M, Waworuntu J. 2013. Variabilitas Suhu di Perairan Senenu. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*; 5(2): p. 243-259.
- [4] Stewart RH. 2008. *Introduction of Physical Oceanography Texas: Department of Oceanography, Texas A & M University*.
- [5] H. Guo. 2011. A Simple Algorithm for Fitting a Gaussian Function [DSP Tips and Tricks]. *IEEE Signal Processing Magazine* .September; 28(5): p. 134-137.
- [6.] Grandis H. 2008. *Pengantar Pemodelan Inversi Geofisika Bandung: Himpunan Ahli Geofisika (HAGI)*.
- [7] Google Earth. "Jawa" 6036'30.22" and 106026'46.47T December 14, 2015 June 7, 2016. 2015..
- [8] Chapra SC, Canale RP. 2010. *Numerical Methods for Engineers*. 6th ed. New York: McGraw-Hill.
- [9] Sugiyono P. 2010. *Statistika Untuk Penelitian Bandung: CV. Alfabeta*.