

**PREDIKSI DATA SPASIAL
MENGUNAKAN METODE INTERPOLASI *INVERSE*
DISTANCE WEIGHTING UNTUK PEMETAAN
KEDALAMAN AIR WADUK**

SKRIPSI

oleh:
ANWAR TAUFIQ
0310960008-96



**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
2008**

**PREDIKSI DATA SPASIAL
MENGUNAKAN METODE INTERPOLASI *INVERSE*
DISTANCE WEIGHTING UNTUK PEMETAAN
KEDALAMAN AIR WADUK**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana dalam bidang Ilmu Komputer

oleh:

ANWAR TAUFIQ

0310960008-96



**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
2008**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PREDIKSI DATA SPASIAL
MENGUNAKAN METODE INTERPOLASI *INVERSE*
DISTANCE WEIGHTING UNTUK PEMETAAN
KEDALAMAN AIR WADUK**

Oleh:
ANWAR TAUFIQ
0310960008-96

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
Pada tanggal 29 Juli 2008
dan dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana dalam bidang Ilmu Komputer

Pembimbing I

Pembimbing II

EDY SANTOSO, SSi., M.Kom
NIP. 132 304 307

BAYU RAHAYUDI, ST., MT
NIP. 132 318 424

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya

Dr. Agus Suryanto, MSc.
NIP. 132 126 049

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Anwar Taufiq
NIM : 0310960008
Jurusan : Matematika
Penulis Skripsi berjudul : Prediksi data spasial
menggunakan metode Interpolasi *Inverse Distance Weighting*
(IDW) untuk pemetaan kedalaman air waduk.

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Isi dari Skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain, selain nama-nama yang termaktub di isi dan tertulis di daftar pustaka dalam Skripsi ini.
 2. Apabila dikemudian hari ternyata Skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan, maka saya akan bersedia menanggung segala resiko yang akan saya terima.
- Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 29 Juli 2008
Yang menyatakan,

(Anwar Taufiq)
NIM. 0310960008

PREDIKSI DATA SPASIAL MENGGUNAKAN METODE INTERPOLASI *INVERSE DISTANCE WEIGHTING* UNTUK PEMETAAN KEDALAMAN AIR WADUK

ABSTRAK

Data spasial adalah data yang menunjukkan ruang, lokasi atau tempat di permukaan bumi. Data kedalaman air waduk merupakan data spasial dengan bentuk titik yang menyimpan lokasi pengukuran kedalaman air. Data ini digunakan dalam analisis endapan untuk optimasi pemanfaatan waduk. Untuk membantu memenuhi kebutuhan data dalam analisis endapan di seluruh area waduk diperlukan prediksi data di lokasi yang tidak diukur kedalamannya. Metode yang dapat digunakan yaitu metode interpolasi *inverse distance weighting* dan OpenGL untuk pemetaan hasil prediksi data.

Interpolasi IDW menggunakan sejumlah data yang berada didekatnya untuk memprediksi data yang dicari. Setiap data memberikan pengaruh terhadap hasil prediksi sesuai dengan bobotnya. Bobot data referensi ditentukan oleh jarak terhadap lokasi data yang dicari. Bobot data referensi berbanding terbalik terhadap jaraknya. Hasil prediksi data seluruh area waduk kemudian dipetakan menjadi peta dua dimensi menggunakan OpenGL dengan primitif *triangle strip*.

Evaluasi prediksi data dilakukan dengan memprediksi ulang data pengukuran lapangan menggunakan sejumlah data referensi yang berbeda. Hasil prediksi dikaitkan dengan data asli untuk mengetahui tingkat kesalahan yang terjadi. Hasil evaluasi menunjukkan jumlah data referensi yang dapat digunakan untuk prediksi data yaitu 5 data referensi dengan nilai $G=0,969614$ untuk data bersifat linear. Jumlah nilai referensi ini memiliki tingkat kesalahan terkecil dibandingkan dengan penggunaan jumlah data referensi yang lain. Penetapan data referensi terdekat hanya menggunakan jarak data dengan lokasi dicari tanpa memperhatikan arah lokasi data referensi.

SPATIAL DATA PREDICTION USING INVERSE DISTANCE WEIGHTING INTERPOLATION METHOD FOR DEPTH OF WATER DAM MAPPING

ABSTRACT

Spatial data is data showing space, location or place on earth space. Depth of water dam is in the point shape of spatial data which is containing a location of measure of water depth. It is used to analyze of sedimentation, to optimize benefits of dam. In order to fulfill data requirement in analyzing sedimentation in entire area of dam, it is needed to predict data in un-measurable depth location. To measure un-measurable data is used inverse distance weighting interpolation method and OpenGL for mapping results of data prediction.

IDW interpolation is using a number of nearest data to predict the data which were looking for. Each of the data effects to the result of prediction appropriated to the weight. Reference data weighting is determined by the distance to the data which were looking for. Reference data weighting is inversely proportional with its distance. The results of data prediction for the entire area of dam are mapped into two dimensional map using OpenGL with triangle strip primitive.

The evaluation of data prediction is conducted by re-predict measurement data using a number of different references. The result of data prediction is correlated to original data to calculate the occurrence of error rate. The result from evaluation shows that a number of reference data can be used are 5 data with value of $G=0,969614$ for linear data references. It has smallest error value than another number of references. Nearest reference data is determined based on its distance to predicted location without concerning to the direction of reference data location.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah *rabbil 'alamin*. Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas segala rahmat dan limpahan hidayahnya, skripsi yang berjudul “Prediksi Data Spasial Menggunakan Metode Interpolasi *Inverse Distance Weighting* untuk Pemetaan Kedalaman Air Waduk” ini dapat diselesaikan. Skripsi ini disusun dan diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada program studi Ilmu Komputer, jurusan Matematika, fakultas MIPA, universitas Brawijaya.

Semoga Allah melimpahkan rahmat atas Nabi Muhammad SAW yang senantiasa memberikan cahaya petunjuk, dan atas keluarganya yang baik dan suci dengan rahmat yang berkah-Nya menyelamatkan kita pada hari akhirat.

Dalam penyelesaian skripsi ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan baik moral maupun materiil dari banyak pihak. Atas bantuan yang telah diberikan, penulis ingin menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Edy Santoso, SSi., M.Kom dan Bayu Rahayudi, ST., MT., selaku pembimbing penulisan skripsi ini. Terima kasih atas semua saran, bantuan, kritikan, waktu, dorongan semangat dan bimbingannya.
2. Drs. Muh. Arif Rahman, M.Kom selaku Penasihat Akademik.
3. Wayan F. Mahmudy, S.Si, MT selaku Ketua Program Studi Ilmu Komputer Unibraw Malang.
4. Dr. Agus Suryanto, MSc selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.
5. Segenap dosen yang telah mendidik dan mengajarkan ilmu kepada Penulis selama menempuh pendidikan di Program Studi Ilmu Komputer Jurusan Matematika FMIPA Universitas Brawijaya.
6. PT. Jasa Tirta I Malang yang telah menyediakan data untuk studi kasus dalam Tugas Akhir ini.
7. Bapak, Ibu dan keluarga, yang senantiasa berdoa dan memberi dukungan dan semangat.
8. Teman-teman Ilmu Komputer angkatan 2003. Terima kasih atas semangat dan doanya.

9. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tugas akhir ini yang tidak dapat Penulis sebutkan satu per satu.

Semoga penulisan laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca sekalian. Dengan tidak lupa kodratnya sebagai manusia, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, dan mengandung banyak kekurangan, sehingga dengan segala kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca.

Malang, Juli 2008

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xix
DAFTAR LAMPIRAN	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Informasi Geografis.....	5
2.1.1 Data Spasial	6
2.1.2 Model Data Spasial.....	7
2.1.3 Visualisasi dan Pemetaan.....	8
2.1.4 <i>Open Graphics Library</i> (OpenGL)	9
2.2 Waduk	11
2.2.1 Penentuan Lokasi Pengukuran.....	12
2.2.2 Pengukuran Kedalaman Air.....	13
2.3 Prediksi Data Spasial.....	14
2.3.1 Interpolasi	15
2.3.2 Interpolasi <i>Inverse Distance Weighting</i> (IDW)	15
2.3.3 Evaluasi Prediksi Data	17
2.4 Penelitian yang Telah Dilakukan	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Analisis Sistem.....	21
3.1.1 Deskripsi Sistem	21

3.1.2 Batasan Sistem	23
3.2 Sumber Data	23
3.3 Perancangan Basis Data.....	23
3.4 Perancangan Sistem	27
3.4.1 Proses Penyimpanan Data	27
3.4.2 Prediksi Data	29
3.4.3 Pemetaan Data.....	33
3.5 Rancangan Antarmuka	34
3.6 Pengujian Perangkat Lunak	35
3.7 Contoh Data dan Prediksi Data.....	37
BAB IV IMPLEMENTASI DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Implementasi	41
4.1.1 Implementasi Basis Data.....	41
4.1.2 Implementasi Program	41
4.1.2.1 Pembacaan Data Tepi Waduk.....	43
4.1.2.2 Pembacaan Data Kedalaman Air Waduk	45
4.1.2.3 Penentuan Batas Area Prediksi Data	47
4.1.2.4 Prediksi Data Kedalaman Air Waduk.....	50
4.1.2.5 Pemetaan Hasil Prediksi Data.....	56
4.1.3 Implementasi Antarmuka	59
4.2 Uji Coba Perangkat Lunak	61
4.2.1 Penentuan Titik Terdekat	61
4.2.2 Penghitungan Tingkat Kesalahan.....	63
4.2.3 Hasil Penghitungan Tingkat Kesalahan	65
4.2.4 Pemetaan Data Kedalaman Air Waduk.....	70
4.3 Analisis Hasil.....	77
BAB V PENUTUP	79
5.1 Kesimpulan	79
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Poligon.....	7
Gambar 2.2 Garis	7
Gambar 2.3 Titik	8
Gambar 2.4 <i>Image</i>	8
Gambar 2.5 Tampilan tipe primitif OpenGL.....	10
Gambar 2.6 Penggambaran <i>triangle strip</i>	11
Gambar 2.7 Penghitungan jarak titik ikat dengan lokasi pengukuran	12
Gambar 2.8 Proses pengukuran penampang melintang waduk....	13
Gambar 2.9 Hasil pengukuran kedalaman air	14
Gambar 3.1 Diagram alir proses.....	22
Gambar 3.2 Struktur basis data	28
Gambar 3.3 Query penyimpanan data	28
Gambar 3.4 Pseudocode algoritma IDW.....	30
Gambar 3.5 Pseudocode algoritma pencarian titik terdekat	31
Gambar 3.6 Pseudocode algoritma perhitungan jarak 2 titik	32
Gambar 3.7 Pseudocode algoritma penentuan bobot titik referensi	33
Gambar 3.8 Urutan penentuan lokasi prediksi data.....	34
Gambar 3.9 Rancangan antarmuka inialisasi prediksi data	34
Gambar 3.10 Rancangan antarmuka pemetaan hasil prediksi data	35
Gambar 3.11 Contoh penggambaran lokasi pengukuran	38
Gambar 4.1 Definisi struktur data	42
Gambar 4.2 Penghitungan jumlah data tepi waduk.....	44
Gambar 4.3 Pembacaan data tepi waduk.....	44
Gambar 4.4 Penentuan nilai maksimum dan minimum lokasi data	45
Gambar 4.5 Penentuan jumlah data kedalaman air waduk.....	46
Gambar 4.6 Pembacaan tingkat ketinggian air waduk	46
Gambar 4.7 Pembacaan data kedalaman air waduk	47
Gambar 4.8 Penentuan nilai y untuk x	48
Gambar 4.9 Prosedur angleCalc()	49
Gambar 4.10 Fungsi findY()	49
Gambar 4.11 Prosedur dataPrediction()	52
Gambar 4.12 Prosedur saveData(data)	52
Gambar 4.13 Fungsi idw(point)	53
Gambar 4.14 Prosedur nearest(p).....	54
Gambar 4.15 Fungsi distance(p1,p2)	55
Gambar 4.16 Fungsi weight(dist).....	55

Gambar 4.17 Pemetaan data kedalaman air.....	57
Gambar 4.18 Konversi data lokasi menjadi data koordinat form pemetaan	58
Gambar 4.19 Penentuan kode warna untuk setiap lokasi data kedalaman air.....	58
Gambar 4.20 Form pembacaan data dan prediksi data.....	59
Gambar 4.21 Form pemetaan data kedalaman air waduk.....	60
Gambar 4.22 Pemetaan data kedalaman air waduk hasil pengukuran lapang.....	61
Gambar 4.23 Lokasi prediksi dan data referensi terdekat untuk prediksi data.....	62
Gambar 4.24 Penentuan sampel data evaluasi.....	63
Gambar 4.25 Fungsi MeanError()	64
Gambar 4.26 Fungsi MeanAbsoluteError().....	65
Gambar 4.27 Fungsi gVal().....	66
Gambar 4.28 Grafik rata-rata <i>Mean Error</i> (ME) untuk evaluasi prediksi data dengan 5 macam data sampel.....	68
Gambar 4.29 Grafik rata-rata <i>Mean Absolute Error</i> (MAE) untuk evaluasi prediksi data dengan 5 macam data sampel	69
Gambar 4.30 Grafik rata-rata <i>Goodness of Prediction Statistic</i> (G) untuk evaluasi prediksi data dengan 5 macam data sampel	69
Gambar 4.31 Pemetaan hasil prediksi data dengan 5 titik referensi untuk level air rendah	71
Gambar 4.32 Pemetaan hasil prediksi data dengan 5 titik referensi untuk level air tinggi.....	71
Gambar 4.33 Pemetaan hasil prediksi data dengan 10 titik referensi untuk level air rendah	72
Gambar 4.34 Pemetaan hasil prediksi data dengan 10 titik referensi untuk level air tinggi.....	72
Gambar 4.35 Pemetaan hasil prediksi data dengan 15 titik referensi untuk level air rendah	73
Gambar 4.36 Pemetaan hasil prediksi data dengan 15 titik referensi untuk level air tinggi.....	73
Gambar 4.37 Pemetaan hasil prediksi data dengan 20 titik referensi untuk level air rendah	74
Gambar 4.38 Pemetaan hasil prediksi data dengan 20 titik referensi untuk level air tinggi.....	74

Gambar 4.39 Pemetaan hasil prediksi data dengan 25 titik referensi untuk level air rendah	75
Gambar 4.40 Pemetaan hasil prediksi data dengan 25 titik referensi untuk level air tinggi.....	75
Gambar 4.41 Pemetaan hasil prediksi data dengan 30 titik referensi untuk level air rendah	76
Gambar 4.42 Pemetaan hasil prediksi data dengan 30 titik referensi untuk level air tinggi.....	76
Gambar 4.43 Data kedalaman dengan perbedaan ekstrim	78

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel waduk	24
Tabel 3.2 Tabel water_level	25
Tabel 3.3 Tabel lokasi_point	25
Tabel 3.4 Tabel cross_point	26
Tabel 3.5 Tabel ukur_lapang	26
Tabel 3.6 Tabel spatial_data_saver	27
Tabel 3.7 Tabel sampel data evaluasi prediksi data	36
Tabel 3.8 Tabel evaluasi prediksi data	36
Tabel 3.9 Contoh data spasial.....	37
Tabel 3.10 Bobot 10 titik terdekat dengan titik (8,12)	39
Tabel 4.1 Definisi variabel global dalam unit uGlobal.pas	42
Tabel 4.2 Evaluasi prediksi data sampel ke-1	66
Tabel 4.3 Evaluasi prediksi data sampel ke-2	67
Tabel 4.4 Evaluasi prediksi data sampel ke-3	67
Tabel 4.5 Evaluasi prediksi data sampel ke-4	67
Tabel 4.6 Evaluasi prediksi data sampel ke-5	67
Tabel 4.7 Rata-rata hasil evaluasi prediksi data untuk 5 macam sampel	68
Tabel 4.8 Perberdaan bobot data referensi untuk penggunaan jumlah referensi 5 ($w_i(5)$) dan 10 ($w_i(10)$) data	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pengolahan data kedalaman air hasil pengukuran lapang.....	83
Lampiran 2	Contoh data kedalaman air hasil pengukuran lapang waduk Wonorejo tahun 2004.....	85
Lampiran 3	Contoh data spasial hasil konversi data pengukuran lapang waduk Wonorejo tahun2004	86
Lampiran 4	Antarmuka aplikasi evaluasi prediksi data spasial menggunakan metode InterIolasi <i>Inverse Distance Weighting</i> (IDW)	87
Lampiran 5	Data evaluasi prediksi data spasial menggunakan metode InterIolasi <i>Inverse Distance Weighting</i> (IDW) untuk sampel ke-1	88



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Prediksi data digunakan oleh berbagai bidang atau lembaga untuk membantu melakukan penetapan kebijaksanaan maupun langkah yang harus dilakukan di masa mendatang. Banyak metode yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi data diantaranya metode interpolasi, metode regresi, metode markov dan *neural network*. Data yang diprediksi berupa nilai yang akan muncul di suatu lokasi atau di masa mendatang berdasarkan data-data yang dimiliki. Prediksi data diantaranya digunakan untuk memprediksikan data kedalaman air di suatu waduk untuk lokasi tertentu berdasarkan data kedalaman air yang dimiliki.

Waduk adalah sarana vital yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan warga yang berada di sekitar waduk. Pemanfaatan waduk diantaranya untuk irigasi pertanian, pemeliharaan ikan, pembangkit listrik, pengatur dan pengendali debit dan volume air yang mengalir di suatu daerah. Operasional waduk tergantung pada volume air yang dapat ditampung oleh waduk tersebut. Volume air yang dapat ditampung di suatu waduk dipengaruhi oleh tingginya endapan yang terjadi di dasarnya (Soegiarto, 2004). Jika endapan di dasar waduk tersebut cukup banyak, maka volume air yang dapat ditampung oleh waduk semakin berkurang. Permasalahan ini membutuhkan tindakan lebih lanjut, misalnya dengan pengerukan endapan di lokasi yang mengalami pendangkalan untuk mengembalikan kapasitas tampung efektif waduk. Tingginya endapan di suatu waduk dapat diketahui dengan melakukan pengukuran kedalaman air waduk.

Pengukuran kedalaman waduk dilakukan di titik-titik yang telah ditentukan. Data pengukuran kedalaman air waduk dapat dikategorikan dalam bentuk data spasial. Data spasial adalah data mengenai tata ruang (menyangkut titik koordinat). Data spasial dapat direpresentasikan dalam bentuk poligon, garis, titik dan gambar. Data kedalaman air hasil pengukuran termasuk dalam bentuk data spasial titik. Data ini terdiri dari lokasi pengukuran dan nilai kedalaman air.

Data kedalaman air hasil pengukuran lapang jumlahnya tidak sedikit sehingga analisis terhadap data tersebut sulit dilakukan jika hanya melihat secara langsung data yang ada. Analisis yang

dilakukan terhadap data hasil pengukuran kedalaman air yaitu analisis ketinggian endapan pada dasar waduk. Pemetaan terhadap data kedalaman air diperlukan untuk membantu petugas atau tenaga ahli dalam melakukan analisis terhadap kondisi yang terjadi pada waduk tersebut, misalnya untuk mengetahui volume air waduk, dan perkiraan terhadap ketinggian endapan yang terdapat di tempat atau area tertentu. Proses pemetaan kedalaman air waduk membutuhkan data kedalaman air di seluruh area waduk dengan jarak pengukuran tertentu.

Proses prediksi data dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan data yang tidak tersedia dari hasil pengukuran yang telah dilakukan karena pengukuran hanya dilakukan di titik-titik tertentu. Metode yang dapat digunakan untuk proses prediksi data yaitu metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* (Alexandra and Bullock, 1999). Alexandra Kravchenko dan Donald G Bullock menggunakan metode ini untuk memprediksikan kandungan tanah berdasarkan data kandungan tanah terdekat disekitarnya. Prediksi data pada lokasi yang tidak mengalami pengukuran sangat berguna untuk menentukan ketepatan pemetaan tanah dan parameter yang berkaitan dengan lingkungan tanah tersebut (Cori, 2006).

Metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya akan digunakan untuk prediksi data kedalaman air waduk di lokasi yang belum diketahui kedalamannya. Proses prediksi menggunakan sejumlah data kedalaman air hasil pengukuran lapang terdekat disekitar lokasi tak terukur. Proses prediksi data dilakukan untuk seluruh lokasi yang tidak memiliki data kedalaman hingga data yang dibutuhkan terpenuhi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang masalah, maka rumusan masalah yang akan dijadikan obyek penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan data referensi terdekat untuk prediksi data dengan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting*.
2. Berapa besar tingkat kesalahan (*error*) yang dihasilkan dalam proses prediksi data.
3. Bagaimana kemampuan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* dalam memprediksikan data spasial yang berupa data

kedalaman air waduk untuk lokasi yang belum diketahui data kedalamannya berdasarkan data kedalaman air yang ada.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk penelitian ini sebagai berikut:

1. Data spasial yang digunakan untuk objek penelitian hanya data spasial titik (*point*).
2. Data yang digunakan sebagai referensi prediksi adalah hasil pengukuran lapangan yang sudah ada dan bersifat statis, tidak berubah selama proses prediksi berlangsung.
3. Metode interpolasi yang digunakan untuk proses prediksi data bersifat linear.
4. Pemetaan data yang digunakan berupa pemetaan dua dimensi untuk kedalaman air waduk.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai sebagai berikut:

1. Menentukan sejumlah titik referensi terdekat untuk prediksi kedalaman air yang belum diketahui.
2. Menganalisis tingkat kesalahan yang dihasilkan dari proses prediksi data spasial untuk penggunaan jumlah data referensi yang berbeda.
3. Memprediksi data spasial (data kedalaman air waduk) yang belum diketahui menggunakan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* untuk seluruh area waduk dan memetakan data hasil prediksi menggunakan OpenGL.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu alat bantu untuk melakukan analisis kedalaman air atau ketinggian endapan yang ada di suatu waduk dan dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut.

1.6 Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun berdasarkan sistematika penulisan sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

2. BAB II TINJUAN PUSTAKA

Menguraikan teori-teori yang berhubungan dengan prediksi data spasial menggunakan metode interpolasi untuk pemetaan kedalaman air waduk.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode-metode yang digunakan dan langkah-langkah yang harus dilakukan dalam penelitian ini.

4. BAB IV IMPLEMENTASI DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai proses implementasi, pengujian, dan analisis perangkat lunak yang dibangun.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan dari seluruh rangkaian penelitian dan saran yang diharapkan bermanfaat untuk pengembangan skripsi ini selanjutnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Informasi Geografis

Geographic Information System atau Sistem Informasi Geografis diartikan sebagai sistem informasi yang digunakan untuk memasukkan, menyimpan, memanggil kembali, mengolah, menganalisis dan menghasilkan data bereferensi geografis atau data geospasial (data berbasis area, ruang dan geografis), untuk mendukung pengambilan keputusan dalam perencanaan, pengelolaan dan penyelesaian terhadap suatu masalah (Murai, 1999). Sumber-sumber data dari geospasial antara lain dari peta digital, foto udara, citra satelit, tabel statistic, hasil pengukuran atau observasi dan sumber lainnya.

Sistem Informasi Geografis digunakan untuk menghasilkan informasi yang diperlukan oleh pengguna. Pengguna dapat berupa perseorangan, beberapa orang, maupun badan hukum baik pemerintah maupun swasta. Informasi dalam GIS dapat ditampilkan dalam dua bentuk dasar, yaitu peta dan tabel. Bentuk yang dipilih tergantung dari kebutuhan. Contohnya adalah untuk menunjukkan lokasi tanah pemanfaatan, bentuk yang sesuai adalah bentuk peta. Sedangkan untuk menunjukkan informasi tentang jumlah sumber daya yang dapat dimanfaatkan dalam satu daerah tertentu, bentuk yang sesuai adalah bentuk tabel.

Teknologi GIS mengintegrasikan operasi pengolahan data berbasis basis data yang biasa digunakan saat ini, seperti pengambilan data, analisis statistik dan visualisasi yang khas serta berbagai keuntungan yang mampu ditawarkan melalui analisis geografis dalam bentuk peta (Kartika dan Jeffrey, 2006). Kemampuan tersebut membuat sistem informasi GIS berbeda dengan sistem informasi pada umumnya dan membuat sistem ini berharga bagi perusahaan milik masyarakat atau perseorangan untuk memberikan penjelasan tentang suatu peristiwa, membuat peramalan kejadian, dan perencanaan strategis lainnya.

GIS merupakan sebuah teknologi yang mampu mengubah secara besar-besaran tentang cara sebuah aktivitas bisnis maupun sosial diselenggarakan (Anonymous, 2005). Teknologi GIS memungkinkan pengguna untuk melihat informasi bisnis secara keseluruhan dengan cara pandang baru, melalui basis pemetaan, dan menemukan

hubungan yang selama ini sama sekali tidak terungkap. Penggunaan GIS memberikan lebih banyak penawaran dibandingkan hanya menampilkan data secara biasa.

2.1.1 Data Spasial

Data spasial adalah data yang menunjukkan ruang, lokasi atau tempat di permukaan bumi (Murai, 1999). Data spasial berhubungan dengan geometri bentuk keruangan. Data spasial merupakan salah satu item dari informasi yang didalamnya terdapat informasi mengenai bumi termasuk permukaan bumi, dibawah permukaan bumi, perairan, kelautan dan bawah atmosfer. Data spasial dan informasi turunannya digunakan untuk menentukan posisi dari identifikasi suatu elemen di permukaan bumi. Posisi dalam data spasial dapat digunakan untuk menentukan hubungan antara suatu elemen atau aktifitas dengan elemen atau aktifitas lain di posisi yang sama atau posisi yang berdekatan. Selain itu, posisi dapat digunakan untuk menghitung jarak, pembuatan peta dan memberi arahan dalam membuat keputusan spasial yang bersifat kompleks.

Sumber data spasial dapat diperoleh dari beberapa sumber data diantaranya (Aziz dan Pujiono, 2006):

- Citra Satelit, data ini menggunakan satelit sebagai wahananya. Satelit tersebut menggunakan sensor untuk dapat merekam kondisi atau gambaran dari permukaan bumi.
- Peta Analog, merupakan versi awal dari data spasial. Peta analog merupakan bentuk tradisional dari data spasial yang ditampilkan dalam bentuk kertas atau film. Peta analog tersebut dapat dipindai menjadi format digital untuk kemudian disimpan dalam basis data.
- Foto Udara (Aerial Photographs), merupakan salah satu sumber data yang banyak digunakan untuk menghasilkan data spasial selain dari citra satelit. Perbedaannya dengan citra satelit adalah hanya pada wahana dan cakupan wilayahnya. Biasanya foto udara menggunakan pesawat udara.
- Data Tabular, berfungsi sebagai atribut bagi data spasial. Data tabular ini kemudian di relasikan dengan data spasial untuk menghasilkan tema data tertentu.
- Data Survei, data ini dihasilkan dari hasil survei atau pengamatan di lapangan.

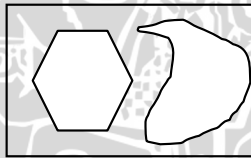
2.1.2 Model Data Spasial

Data spasial terbagi atas 2 model data spasial yang penyimpanannya terbagi atas 4 macam tipe layer penyimpanan. Model data spasial yang dimaksud yaitu model data *raster* dan model data *vector*. Model data *raster* adalah model data yang berupa citra. Model data *raster* akan disimpan dalam bentuk *grid*, dimana setiap *grid* mewakili data tertentu. Model data *vector* adalah model data yang didefinisikan dalam suatu bentuk garis, poligon, titik dan sejenisnya. Model data tersebut merupakan representasi dari obyek-obyek geografi yang terekam sehingga dapat dikenali dan diproses oleh komputer.

Layer penyimpanan dan pengolahan data spasial yang digunakan dalam SIG adalah sebagai berikut (Aziz dan Pujiono, 2006):

a. *Bounday* (poligon)

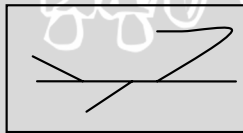
Tipe data ini digunakan untuk mengolah data yang berbentuk luasan seperti yang terlihat pada Gambar 2.1. Contoh penggunaan poligon misalnya untuk menggambarkan gedung, persil, dan kompleks bangunan.



Gambar 2.1 Poligon

b. *Line* (garis)

Tipe data *line* digunakan untuk pengolahan data yang berbentuk garis, seperti pada Gambar 2.2. Berkas garis yang dimaksud adalah kenampakan geografis pada permukaan bumi, seperti jalan, sungai, jaringan, kabel dan sebagainya.

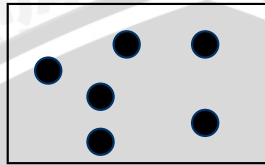


Gambar 2.2 Garis

c. *Point* (titik)

Tipe *point* digunakan untuk pengolahan data titik dan simbol untuk mewakili data pada posisi tersebut yang berisi tentang informasi titik-titik posisi, seperti terlihat pada Gambar 2.3.

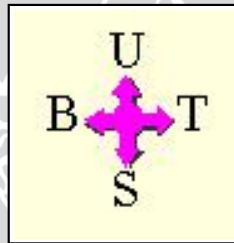
Contoh penggunaannya misalnya untuk melambangkan posisi hidran, posisi tempat sampah dan posisi ibukota suatu daerah pemerintahan.



Gambar 2.3 Titik

d. *Image* (gambar)

Tipe *Image* digunakan untuk memberikan informasi yang bersifat presentasi grafis, seperti terlihat pada Gambar 2.4. Contoh *image* untuk penunjuk arah.



Gambar 2.4 *Image* penunjuk arah

2.1.3 Visualisasi dan Pemetaan

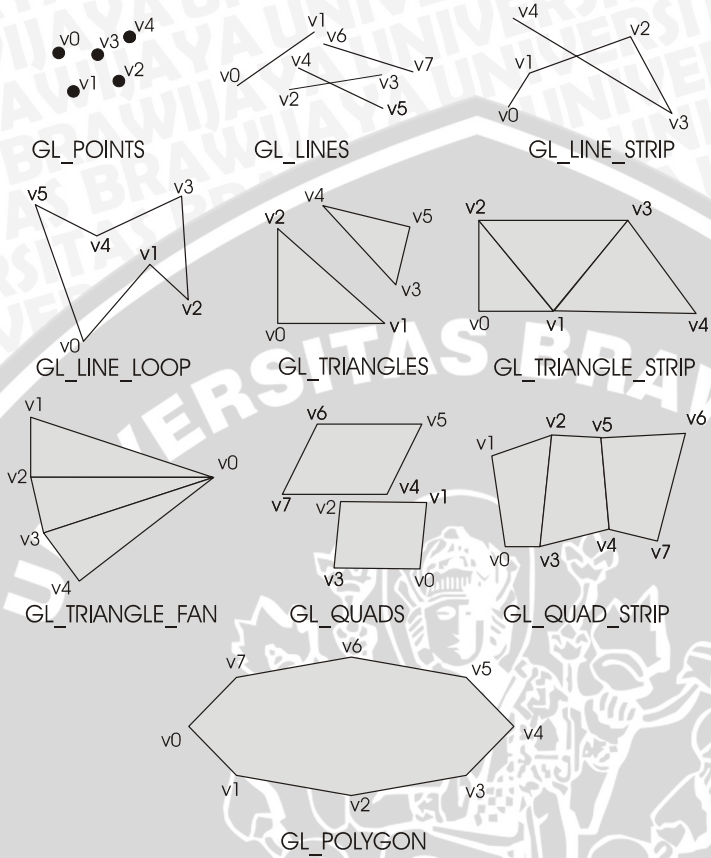
Visualisasi didefinisikan sebagai suatu metode untuk merepresentasikan suatu data atau permasalahan ke dalam format grafik atau bentuk gambar yang mudah untuk dipahami (Santoso, 1994). Sedangkan pemetaan adalah salah satu bentuk visualisasi, yaitu dengan merepresentasikan suatu data ke dalam suatu grafik dengan klasifikasi, misalnya peta. Salah satu bidang yang banyak berhubungan dengan visualisasi dan pemetaan adalah sistem informasi geografis (SIG) atau *Geographic Information System* (GIS).

Visualisasi dan pemetaan dapat dilihat menggunakan program bantu (kompiler) Borland Delphi dengan memanfaatkan fasilitas library dari OpenGL. OpenGL digunakan sebagai alat bantu di dalam melakukan pemetaan terhadap data spasial yang telah disimpan dalam basis data.

2.1.4 *Open Graphics Library (OpenGL)*

OpenGL adalah kumpulan fungsi pemrosesan grafik yang akan mempermudah pemrogram di dalam membuat visualisasi atau grafik dari suatu data (Lee, 1996). Pustaka perangkat lunak (*software library*) OpenGL berperan sebagai antar-muka dengan hardware grafik pada level paling rendah. OpenGL memiliki beberapa kemampuan antara lain dapat bekerja pada hampir semua sistem (tidak tergantung pada sistem operasi dan hardware), sebagian besar kartu grafik mendukung implementasi hardware dari perintah OpenGL (Neider, dkk., 1997). Bahasa pemrograman yang dapat digunakan antara lain C, C++, Ada, Fortran, Java dan Delphi. OpenGL bukan merupakan sistem grafik multi-guna, karena sistem penggambaran yang dilakukan berbasis polygon yang mendukung sedikit primitif geometri untuk pembuatan model seperti titik (*points*), garis (*lines*) dan poligon.

Primitif geometri OpenGL digambarkan dalam suku-suku dari vertek (Neider, dkk., 1997). Sebuah vertek mendefinisikan sebuah titik, akhir dari sebuah garis atau sudut dari sebuah poligon dengan. Dalam koordinat tiga dimensi, setiap vertek dinyatakan dengan koordinat tiga dimensi (x,y,z) . Secara internal, OpenGL menggunakan koordinat homogen sehingga setiap vertek dinyatakan dalam empat koordinat (x,y,z,w) . Jika w tidak sama dengan nol, maka nilai koordinat menjadi titik Euclidean $(x/w,y/w,z/w)$. Tipe primitive geometri harus didefinisikan secara eksplisit sehingga vertek dapat digunakan untuk mendefinisikan primitif geometri yang berbeda seperti titik, garis dan poligon. Tipe ini akan berpengaruh terhadap pendefinisian geometri hingga pengaruh dinon-aktifkan. Primitif yang disediakan OpenGL yaitu titik individu (`GL_POINTS`), segmen garis yang tidak terhubung (`GL_LINES`), segmen garis terhubung (`GL_LINE_STRIP`), segitiga (`GL_TRIANGLES`), deret segitiga (`GL_TRIANGLE_STRIP`), segitiga kipas (`GL_TRIANGLE_FAN`), segi-empat (`GL_QUADS`), deret segi-empat (`GL_QUAD_STRIP`) dan poligon (`GL_POLYGON`). Bentuk yang ditampilkan oleh masing-masing primitif dapat dilihat pada Gambar 2.5. Pada setiap koordinat vertek dari tipe primitif pada Gambar 2.5 dapat didefinisikan data tambahan seperti warna (`glColor()`), normal (`glNormal()`) dan tekstur koordinat-nya (`glTexCoord()`). Pendefinisian data tambahan ini akan memberikan hasil tampilan yang berbeda untuk setiap vertek.



Gambar 2.5 Tampilan tipe primitif OpenGL (Neider, dkk., 1997)

Salah satu tipe primitif OpenGL yang dapat digunakan untuk pemetaan area yaitu deret segitiga terhubung (*GL_TRIANGLE_STRIP*). Sebuah segitiga yang terbentuk dalam primitif ini akan berbagi 2 buah vertek dengan yang digunakan untuk membuat segitiga selanjutnya dari *triangle_strip*. Deretan segitiga dibentuk oleh vertek (v0,v1,v2), (v2,v1,v3), (v2,v3,v4) dan seterusnya (Neider, dkk., 1997). Urutan vertek pada penggambaran segitiga pada segitiga kedua digunakan untuk memastikan bahwa seluruh segitiga digambarkan dalam orientasi yang sama. Perubahan urutan vertek dari data deret segitiga secara otomatis dilakukan oleh OpenGL. Hal ini akan membuat deret segitiga dapat membentuk sebuah bagian permukaan dengan benar.

Fungsi untuk mendukung penggambaran primitif *triangle strip* yaitu *glBegin()*, *glVertex()* dan *glEnd()* (Lee, 1996).

`glBegin()` digunakan untuk mengaktifkan tipe primitif yang digunakan dengan mengisikan `GL_TRIANGLE_STRIP` sebagai parameternya, `glVertex()` untuk penggambaran data dari deret segitiga dan `glEnd()` untuk menon-aktifkan tipe primitif yang digunakan. Pemanggilan fungsi untuk penggambaran dapat dilihat dalam baris program pada Gambar 2.6.

```
glBegin(GL_TRIANGLE_STRIP);  
  glVertex3f( 0.0f, 0.0f, 0.0f ); //vertex 1  
  glVertex3f( 0.0f, 1.0f, 0.0f ); //vertex 2  
  glVertex3f( 1.0f, 0.0f, 0.0f ); //vertex 3  
  glVertex3f( 1.5f, 1.0f, 0.0f ); //vertex 4  
glEnd();
```

Gambar 2.6 Penggambaran *triangle strip*

Setiap vertek yang membentuk primitif `GL_TRIANGLE_STRIP` dapat diberi data warna yang diperlukan dengan menggunakan fungsi `glColor()`. Fungsi ini diletakkan sebelum fungsi penggambaran vertek. Pewarnaan dari setiap vertek akan menampilkan perubahan warna dalam area segitiga. Perubahan warna ini memberikan kemudahan dalam merepresentasikan data spasial titik yang hanya ada pada lokasi atau jarak tertentu menjadi sebuah peta area secara keseluruhan.

2.2 Waduk

Waduk adalah danau buatan yang besar hasil pembendungan sungai. Waduk merupakan salah satu sumber air tawar yang menunjang kehidupan semua makhluk hidup dan kegiatan sosial ekonomi manusia. Menurut Komisi Dam Dunia Bendungan/Waduk besar adalah bila tinggi bendungan lebih dari 15 m (Anonymous, 2006). Ketersediaan sumber daya air, mempunyai peran yang sangat mendasar untuk menunjang pengembangan ekonomi di suatu wilayah. Air waduk digunakan untuk berbagai pemanfaatan antara lain sumber baku air minum, air irigasi, pembangkit listrik, pengaturan debit air yang mengalir di suatu daerah, perikanan dsb.

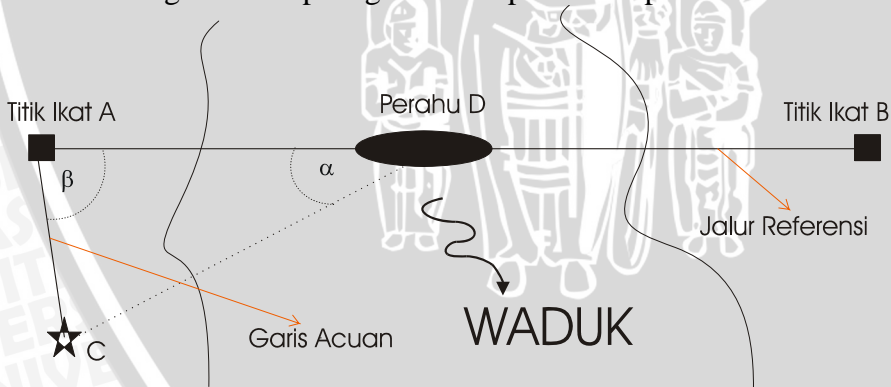
Pemanfaatan atau operasional waduk sangat tergantung pada kapasitas tampungan waduk (Soegiarto, 2004). Perubahan kapasitas tampungan waduk disebabkan oleh besarnya sedimen yang mengendap di dasar waduk. Sedimen ini sebagian besar berasal dari

hulu sungai. Kapasitas tampungan waduk dapat diketahui dengan melakukan *Echo Sounding* (pengukuran penampang melintang waduk) untuk seluruh area waduk. Pengukuran *Echo Sounding* dilakukan pada jalur referensi (titik ikat/*beacon point*) yang telah ditentukan sebelumnya. Kedudukan titik ikat dinyatakan dengan posisi koordinat dan ketinggian (x,y,z).

2.2.1 Penentuan Lokasi Pengukuran

Echo Sounding dilakukan setelah pemeriksaan jarak jalur referensi dengan menghubungkan dua titik ikat menggunakan garis lurus semu (Soegiarto, 2004). Hal ini dilakukan untuk menghindari kesalahan pasangan titik ikat yang kondisi identifikasinya hilang/terhapus. Pemeriksaan jalur referensi menggunakan alat ukur jarak Total Station/EDM. Setelah pemeriksaan selesai kemudian lokasi pengukuran (titik detail pada dasar waduk) ditentukan lurus pada jalur referensi. Jarak antara titik pengukuran dengan titik ikat di darat diukur dengan menggunakan alat ukur sudut Sextan.

Jarak titik ikat dengan lokasi pengukuran dihitung dengan menggunakan persamaan trigonometri yaitu persamaan sinus. Pelaksanaan dilapangan yang diamati yaitu besaran sudut yang terbentuk oleh jalur referensi dengan garis posisi *tranduser* (bagian *Echo Sounder*) ke arah titik ujung garis acuan. Penghitungan jarak titik ikat dengan lokasi pengukuran dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Penghitungan jarak titik ikat dengan lokasi pengukuran

Jarak AD dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.1.

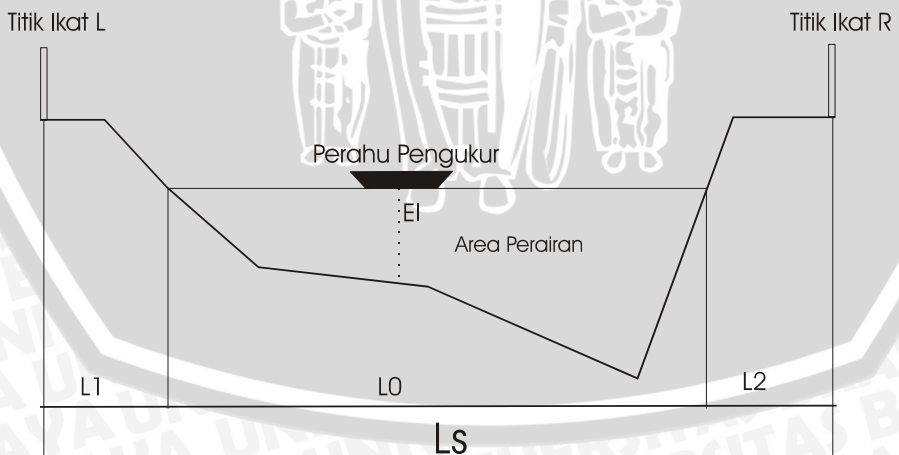
$$jarak AD = \frac{AD \times \sin(\alpha + \beta)}{\sin \alpha} \quad (2.1)$$

AD merupakan jarak antara titik ikat dengan lokasi pengukuran kedalaman air. α dan β merupakan besar sudut dalam Gambar 2.7.

2.2.2 Pengukuran Kedalaman Air

Pengukuran penampang melintang/kedalaman waduk pada area waduk yang berair dilakukan menggunakan *Echo Sounder*. Sedangkan untuk area daratan, pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur Total Station (Soegiarto, 2004). Hasil dari pengukuran yaitu berupa kedalaman air untuk area perairan dan ketinggian daratan di area non-perairan. Hasil pengukuran ini merupakan data pengukuran lengkap penampang melintang waduk pada jalur referensi yang ditentukan. Pengukuran penampang melintang waduk secara lengkap seperti pada Gambar 2.8.

Alat pengukuran kedalaman air (*Echo Sounder*) diletakkan di atas perahu. *Tranduser* (bagian dari alat *Echo Sounder*) diletakkan disisi perahu dan dimasukkan kedalam air (kurang lebih sedalam 25 cm) memancarkan gelombang elektromagnetik ke arah dasar waduk (Soegiarto, 2004). Setelah gelombang elektromagnetik mencapai dasar waduk kemudian dipantulkan kembali dan ditangkap oleh *tranduser*. Waktu dari pengiriman dan penerimaan serta kecepatan gelombang elektromagnetik oleh *tranduser* dapat digunakan untuk menghitung kedalaman air waduk dengan menggunakan fungsi kecepatan. Fungsi ini mengaitkan kecepatan (v) pengiriman sinyal elektromagnetik dan waktu (t) untuk pengiriman dan penerimaan kembali sinyal elektromagnetik.



Gambar 2.8 Proses pengukuran penampang melintang waduk

Keterangan:

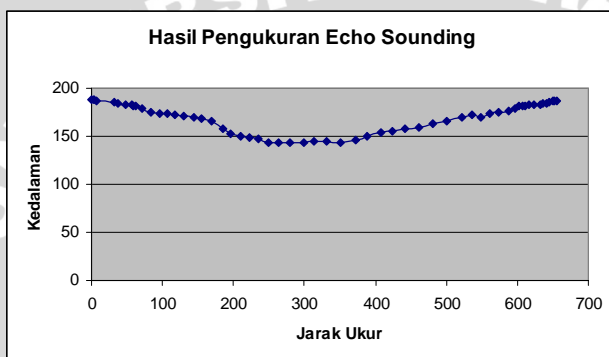
Ls : Jarak keseluruhan penampang melintang waduk.

L1,12 : Jarak serta beda tinggi pada daerah di atas permukaan air, diukur dengan menggunakan Total Station.

L0 : Jarak pada daerah di bawah permukaan air diukur menggunakan alat ukur kedalaman *Echo Sounder* serta alat ukur sudut sextan untuk menentukan jarak.

El : Kedalaman air hasil pengukuran pada jalur referensi lurus.

Hasil pengukuran penampang melintang waduk untuk sebuah jalur referensi dapat dilihat pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Hasil pengukuran kedalaman air

2.3 Prediksi Data Spasial

Prediksi data adalah sebuah proses penentuan nilai yang belum diketahui atau nilai di masa mendatang menggunakan data yang telah dimiliki. Prediksi data spasial secara umum merupakan sebuah metode prediksi yang dapat menyatukan berbagai ketergantungan spasial dari data (Anonymous, 2007). Proses ini digunakan dalam berbagai bidang seperti eksplorasi minyak, pertambangan, dan polusi air. Data yang tersedia untuk bidang ini berupa data pada lokasi-lokasi tertentu (seperti stasiun pengukuran di atas tanah maupun pengukuran dengan jarak tertentu di udara). Tujuan pemanfaatan proses prediksi dalam hal ini yaitu untuk memprediksikan nilai pada lokasi tertentu yang tidak mengalami pengukuran. Lokasi yang tidak diukur biasanya ditampilkan dalam bentuk *grid* biasa dan prediksi data digunakan untuk melakukan plot permukaan ataupun pembuatan peta garis batas (*contour map*).

Proses prediksi data yang dilakukan untuk area yang tidak mengalami pengukuran atau tidak memiliki data disebut sebagai *spatio temporal prediction* (Yannis, dkk., 2005). Prediksi ini dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam algoritma, salah satu algoritma yang dapat digunakan yaitu metode interpolasi. Dengan memanfaatkan data disekitar titik yang ingin diketahui nilainya, maka dapat dilakukan interpolasi untuk memprediksi nilai yang ada pada titik yang dicari tersebut.

2.3.1 Interpolasi

Interpolasi adalah proses perkiraan nilai di suatu titik yang belum diketahui menggunakan nilai-nilai di sekitar titik tersebut yang telah diketahui nilainya (Weir-Smith dan Schwabe, 2002). Interpolasi menyediakan berbagai alat dasar untuk melakukan pengolahan data seperti fungsi, kurva dan proses serta perluasan informasi ke sebuah domain yang lebih luas (Rice, 1983). Perluasan ini hanya berupa perkiraan dan ketepatannya tergantung pada berbagai faktor yang ada dalam proses perkiraan tersebut. Interpolasi sebagai sebuah alat dapat dilihat juga sebagai sebuah kasus untuk perkiraan fungsi dan data. Proses perkiraan ini menggunakan batasan-batasan tertentu, sehingga sebuah perkiraan dapat menjadi interpolasi ketika batasan-batasan yang ada mengizinkan pengguna untuk memenuhi semua kebutuhan secara tepat.

Permasalahan yang membutuhkan proses interpolasi antar nilai data individual sering terjadi dalam bidang keilmuan dan rekayasa (Bilal and Richard, 1996). Contoh permasalahan yang memanfaatkan metode interpolasi yaitu sistem pengontrol energi yang terkomputerisasi untuk sebuah bangunan atau gedung. Sistem ini membutuhkan masukan data berupa variasi temperatur udara yang terjadi dalam gedung setiap harinya. Data yang diambil hanya menggunakan interval tertentu sehingga dibutuhkan proses interpolasi data untuk menentukan nilai antara data dan pembuatan sebuah kurva yang tepat sesuai permasalahan yang ingin diselesaikan.

2.3.2 Interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW)

Interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) adalah sebuah proses interpolasi yang berdasarkan asumsi bahwa tiap data masukan

mempunyai pengaruh yang bersifat lokal yang berkurang terhadap jarak (Cori, 2006). Bobot data semakin besar jika jarak semakin dekat dengan dengan lokasi yang dicari. Metode ini menjadikan jarak dari nilai yang diketahui terhadap nilai yang dicari berbanding terbalik dengan pengaruh yang diberikan. Ketepatan nilai yang dihasilkan tergantung pada jumlah nilai yang digunakan dan jarak dengan nilai yang dicari.

Persamaan 2.2 digunakan dalam metode interpolasi *Inverse Distacne Weighting* (IDW) untuk melakukan prediksi data atau nilai berdasarkan data atau nilai terdekat yang berada di sekitar nilai yang dicari (Alexandra and Bullock, 1999).

$$Z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n w_i * Z(x_i) \quad (2.2)$$

Keterangan:

$Z^*(x_0)$ = nilai yang dicari untuk lokasi x_0 ,

$Z(x_i)$ = nilai-nilai disekitar $Z^*(x_0)$ sebagai data referensi,

w_i = bobot masing-masing dari $Z(x_i)$ terhadap nilai yang dicari,

n = jumlah nilai referensi

Banyaknya nilai yang digunakan sebagai referensi (n) atau viogram data referensi yang digunakan bisa mempengaruhi ketepatan nilai yang dihasilkan dalam proses interpolasi *inverse distance weighting* (IDW).

Data yang digunakan untuk referensi dalam metode interpolasi IDW harus diberi bobot untuk menghitung besarnya pengaruh data tersebut. Pembobotan untuk setiap data yang digunakan dalam metode interpolasi *Inverse Distance Weingting* (IDW) ditunjukkan pada Persamaan 2.3. Bobot setiap data dihitung berdasarkan jarak data dengan lokasi data yang dicari dibandingkan dengan jumlah jarak seluruh data yang digunakan untuk referensi prediksi data. Bobot data akan semakin kecil jika jarak data referensi dengan lokasi data yang dicari semakin jauh (Kerry and Hawick, 1997).

$$w_i = \frac{1/d_i^p}{\sum_{j=1}^n 1/d_j^p} \quad (2.3)$$

Keterangan:

w_i = bobot untuk nilai ke-i,

d_i = jarak dari lokasi nilai ke- i dengan lokasi nilai yang dicari,
 p = nilai parameter eksponensial untuk jarak titik ke- i .

Nilai parameter eksponensial ini bisa bervariasi tergantung pada kebutuhan. Penggunaan beberapa nilai parameter dan jumlah nilai referensi yang berbeda akan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap proses interpolasi (Alexander and Bullock, 1999).

Jarak lokasi data referensi dengan lokasi yang dicari dapat dihitung dengan menggunakan persamaan jarak dua buah titik yang ditunjukkan pada Persamaan 2.4. Dua buah titik yang digunakan yaitu titik awal dan titik akhir dalam sebuah garis lurus.

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2.4)$$

Keterangan:

d : Jarak dua buah titik
 (x_1, y_1) : Titik awal
 (x_2, y_2) : Titik akhir

Persamaan 2.3 juga digunakan dalam pemilihan titik terdekat untuk referensi prediksi data. Setiap data yang dimiliki dihitung jaraknya dengan lokasi yang dicari kemudian ditentukan sejumlah titik yang memiliki jarak terkecil.

2.3.3 Evaluasi Prediksi Data

Evaluasi prediksi data digunakan untuk mengetahui tingkat ketepatan dari proses perhitungan atau prediksi data. Evaluasi ini mengukur korelasi antara data hasil prediksi dengan data referensi yang digunakan untuk memprediksikan data tersebut berdasarkan tingkat kesalahan yang dihasilkan. Korelasi antara nilai nyata dengan hasil prediksinya dapat dilihat menggunakan persamaan *mean error (ME)*, *mean absolute error (MAE)*, dan *goodness of prediction statistic (G)*.

Mean Error adalah kesalahan rata-rata yang dihasilkan dalam prediksi data. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai *mean error (ME)* dapat dilihat dalam Persamaan 2.5.

$$ME = 1/n \sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)] \quad (2.5)$$

Keterangan:

$Z^*(x_i)$ = nilai hasil prediksi dari titik x_i ,

$Z(x_i)$ = nilai sebenarnya dari titik x_i ,
 n = jumlah data yang digunakan untuk menghitung nilai *mean error (ME)*.

Mean Absolute Error adalah nilai absolut dari *mean error*. Persamaan 2.6 digunakan untuk menghitung *mean absolute error (MAE)*.

$$MAE = 1/n \sum_{i=1}^n [|Z^*(x_i) - Z(x_i)|] \quad (2.6)$$

Adapun variabel yang digunakan untuk menghitung *mean absolute error (MAE)* sama dengan persamaan *mean error (ME)*.

Goodness of prediction statistic digunakan untuk mengetahui tingkat ketepatan prediksi data. Persamaan 2.7 digunakan untuk menghitung *goodness of prediction statistic (G)* (Alexandra and Bullock, 1999; Reich, dkk, 2006).

$$G = \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n [Z^*(x_i) - Z(x_i)]^2}{\sum_{i=1}^n [Z_m - Z(x_i)]^2} \right\} \quad (2.7)$$

Keterangan:

$Z^*(x_i)$ = nilai hasil prediksi dari titik x_i ,
 $Z(x_i)$ = nilai sebenarnya dari titik x_i ,
 Z_m = nilai rata-rata dari data sampel untuk evaluasi,
 n = jumlah data sampel.

Nilai yang dihasilkan oleh persamaan 2.7 ini menunjukkan tingkat ketepatan dari prediksi data yang dilakukan dengan jumlah data referensi tertentu. Jika persamaan ini menghasilkan nilai 1 mengindikasikan bahwa prediksi data yang dilakukan dengan jumlah data referensi tertentu sempurna (Reich, dkk., 2006). Nilai positif yang dihasilkan menunjukkan bahwa viogram atau jumlah data referensi yang digunakan dalam memprediksikan data lebih dapat dipercaya dari pada menggunakan rata-rata data sampel. Nilai negatif yang dihasilkan menunjukkan bahwa viogram atau jumlah data referensi yang digunakan dalam memprediksikan data kurang dapat dipercaya dari pada menggunakan nilai rata-rata dari data sample. Jika hasil dari persamaan 2.7 adalah nol, maka nilai untuk data yang belum diketahui adalah nilai rata-rata dari data sampel untuk prediksi data tersebut.

2.4 Penelitian Yang Telah Dilakukan

Prediksi data yang belum diketahui di suatu lokasi tertentu berdasarkan data disekitarnya dapat menggunakan metode yang telah digunakan dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Metode tersebut diantaranya metode interpolasi, metode regresi dan *neural network*. Metode lain yang dapat digunakan untuk prediksi data antara lain *counting model*, *stochastic model*, dan *markov model* (Yanis, dkk., 2005).

Alexandra Kravchenko dan Donald G Bullock pada tahun 1999 memanfaatkan metode interpolasi *inverse distance weighting* untuk melakukan prediksi data kandungan tanah berdasarkan data kandungan tanah yang berada di sekitar lokasi yang dicari. Metode lain yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode interpolasi *ordinary kriging* (KO) dan *lognormal ordinary kriging* (KO_{log}). Penggunaan tiga metode ini untuk menentukan metode interpolasi yang paling optimal dalam memprediksikan kandungan tanah di suatu lokasi yang diinginkan.

Cori J. Armes pada tahun 2006 memanfaatkan metode interpolasi *inverse distance weighting* (IDW) dan metode *spline* dalam menentukan *soil penetration resistance* (SPR). Metode ini diterapkan dalam perangkat lunak ArcView-GIS beserta ekstensi analisis spasialnya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efektifitas dari masing-masing metode tersebut data uji maupun hasil yang ditampilkan.

Metode regresi digunakan oleh S. Banerjee dan A.E. Geffland pada tahun 2002 untuk melakukan penelitian mengenai asosiasi dari data spasial dan prediksi data spasial. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan sebuah perlakuan terhadap situasi yang memiliki ketidaksesuaian antara sebuah variabel terikat (*explanatory variable*) dan variabel bebas (*response variable*). Salah satu tahap yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu melakukan prediksi data untuk mencari nilai dari variabel bebas (*response variable*) di lokasi yang belum ada data atau nilainya serta melakukan analisis hubungan fungsional antar data.

Metode *neural network* yang digunakan oleh G. Weir-Smith dan C.A. Schwabe pada tahun 2002 memberikan sebuah perkiraan nilai untuk data pada lokasi tertentu yang berada di luar batasan data yang dimiliki. Penelitian ini diterapkan pada bidang sosio-ekonomi dan informasi demografik. Fokus pembahasan penelitian ini yaitu

mempbandingkan hasil prediksi dari metode interpolasi dan *neural network* dalam hubungan antara tingkah laku dan pola kriminalitas dalam suatu wilayah atau Negara.

Penelitian-penelitian yang telah dilakukan tersebut berkaitan dengan prediksi data spasial untuk permasalahan-permasalahan yang berbeda. Permasalahan yang diteliti merupakan data yang tersimpan dalam lokasi tertentu sebagai atribut dari lokasi yang dijadikan sebagai objek penelitian. Data yang tersimpan dalam beberapa lokasi yang diteliti dapat digunakan untuk menentukan nilai atau data yang terdapat lokasi lain dalam batasan tertentu menggunakan metode-metode yang ditawarkan seperti metode interpolasi, metode regresi dan *neural network*.



BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab metode penelitian ini akan dibahas metode, rancangan yang digunakan dan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian prediksi data spasial menggunakan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) untuk pemetaan kedalaman air waduk.

Tahap-tahap penelitian yang dilakukan untuk penelitian ini yaitu:

1. Mempelajari metode yang digunakan untuk proses prediksi data spasial pada penelitian sebelumnya meliputi proses sebelum prediksi, proses prediksi maupun pengolahan data hasil prediksi.
2. Pengumpulan dan analisis data lapang untuk proses input data, pengolahan data dan penyajian data.
3. Menganalisis dan merancang perangkat lunak dengan menggunakan metode yang dibutuhkan dengan referensi dasar penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.
4. Membuat perangkat lunak berdasarkan hasil analisis dan perancangan sistem.
5. Uji coba perangkat lunak dengan data kedalaman air waduk hasil pengukuran lapang.
6. Evaluasi hasil kinerja perangkat lunak berdasarkan hasil penyajian data dan tingkat kesalahan yang dihasilkan selama proses pengolahan data.

3.1 Analisis Sistem

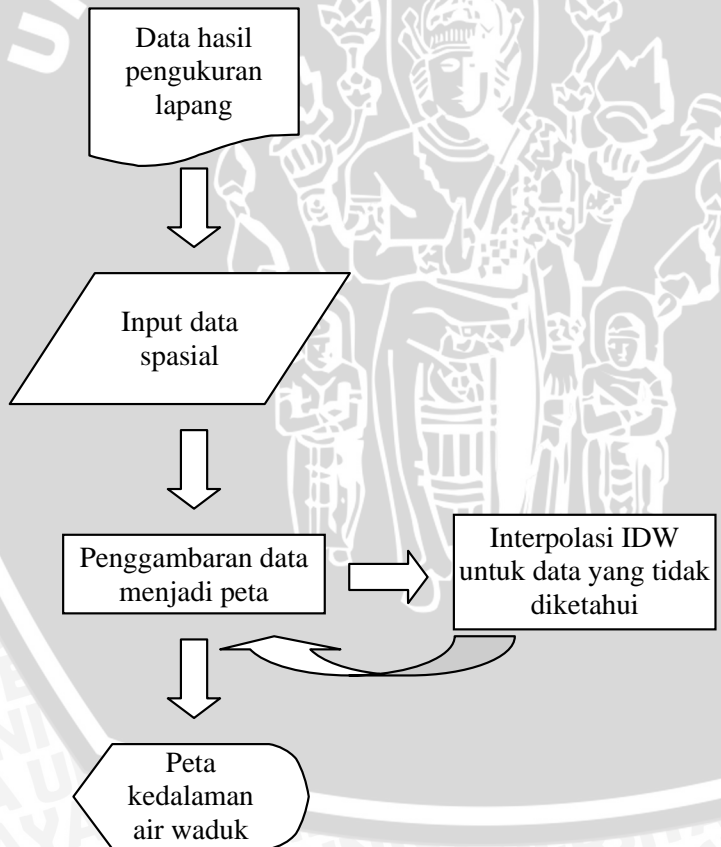
Pada subbab analisis sistem ini akan dijelaskan mengenai deskripsi sistem dan batasan sistem yang digunakan dalam proses prediksi data spasial untuk pemetaan kedalaman air waduk.

3.1.1 Deskripsi Sistem

Sistem yang akan dibangun adalah sistem yang dapat melakukan penyajian data spasial ke dalam bentuk peta atau gambar dua dimensi. Data spasial yang digunakan adalah data spasial titik (*point*) yang berupa kedalaman air di suatu waduk hasil pengukuran lapang. Data lapang kemudian diolah menjadi data spasial sesuai dengan kebutuhan sistem.

Metode yang digunakan dalam sistem ini yaitu metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* untuk proses prediksi data dan metode grafik OpenGL untuk penyajian data dalam bentuk gambar. Proses prediksi data digunakan untuk melengkapi data kedalaman air pada lokasi yang tidak dilakukan pengukuran kedalaman air. Data yang digunakan dalam proses prediksi yaitu data kedalaman air terdekat yang berada di sekitar titik yang dicari. Data referensi ini diberi bobot masing-masing sesuai pengaruhnya terhadap titik yang dicari. Data hasil prediksi kemudian ditampilkan dalam gambar menggunakan OpenGL. Proses ini dilakukan untuk seluruh data untuk jarak pemetaan data tertentu.

Seluruh proses yang ada dalam sistem ini mulai proses pemasukan data, pengolahan dan pemetaan dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir proses

3.1.2 Batasan Sistem

Batasan dari sistem yang akan dikembangkan adalah :

1. Data yang digunakan untuk proses prediksi hanya sebagian data kedalaman air.
2. Jumlah data referensi untuk prediksi nilai suatu titik ditentukan sebelum proses dimulai.
3. Pengambilan data terdekat yang berada di sekitar lokasi yang dicari hanya berdasarkan hasil perhitungan jarak data terhadap lokasi nilai yang dicari.
4. Data yang disajikan dalam penelitian ini hanya data kedalaman yang direpresentasikan dalam kode warna tertentu dan detail lokasi berdasarkan kriteria lokasi data lapang.

3.2 Sumber Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data kedalaman air di suatu waduk (selama beberapa periode) yang diperoleh dari data kedalaman air waduk yang terdapat di salah satu waduk di propinsi Jawa Timur yaitu Waduk Wonorejo. Data yang digunakan adalah data akhir (yang telah ada) yang diperoleh dari instansi terkait (Jasa Tirta I), dan tidak dengan melakukan pengukuran kedalaman air secara mandiri. Data akhir tersebut adalah data hasil pengukuran lapangan yang dilakukan secara berkala oleh petugas di waduk tersebut, untuk mengetahui kedalaman air di posisi-posisi tertentu dari waduk tersebut.

3.3 Perancangan Basis Data

Struktur basis data yang digunakan mengacu kepada struktur umum yang digunakan pada basis data geospasial, yaitu data spasial (keruangan) yang akan menyimpan data posisi (jarak vertikal atau y , dan jarak horisontal atau x) dari titik-titik pengukuran, dan data atribut (deskripsi) yang akan menyimpan data kedalaman air pada titik-titik pengukuran yang telah ditentukan. Posisi titik-titik pengukuran (nilai x dan y) dihitung dari suatu titik referensi pengukuran yang telah ditentukan, dimana nilai x adalah jarak horisontal titik pengukuran ke titik referensi, dan nilai y adalah jarak vertikal titik pengukuran ke titik referensi yang digunakan.

Proses prediksi data dan pemetaan kedalaman air waduk yang dilakukan dalam penelitian ini memerlukan data waduk serta data

kedalaman air hasil pengukuran lapang. Data waduk ini berupa nama waduk, lokasi waduk, daya tampung waduk maksimum dan efektif serta tahun peresmian waduk. Sedangkan data kedalaman air yang digunakan berupa data lokasi dalam bentuk absis, ordinat dan kedalaman. Data kedalaman air ini digunakan untuk proses prediksi dan pemetaan kedalaman air waduk untuk waduk tertentu pada tahun pengukuran tertentu.

Tabel yang dapat disusun berdasarkan kebutuhan sistem yaitu tabel waduk, tabel level_air, tabel lokasi_point, tabel cross_point, tabel ukur_lapang, tabel spatial_data_saver. Tabel-tabel ini digunakan untuk menyimpan seluruh data yang digunakan oleh sistem baik data hasil pengukuran lapang maupun data hasil pengolahan data lapang yang akan dijadikan data referensi untuk proses prediksi data dan pemetaan kedalaman air waduk.

Tabel 3.1 digunakan untuk menyimpan data yang berkaitan dengan keterangan waduk seperti nama waduk, lokasi waduk, pembuatan, level air dan daya tampung waduk.

Tabel 3.1 Tabel waduk

Field	Type	Allow Null
no_waduk	int	No
nama	varchar(50)	No
lokasi	varchar(100)	Yes
peresmian	char(4)	Yes
tampung_max	float	Yes
tampung_efektif	float	Yes

Keterangan :

- no_waduk : Nomor identitas waduk
- nama : Nama waduk
- lokasi : Lokasi waduk
- peresmian : Tahun selesai pembuatan dan peresmian
- tampung_max : Daya tampung maksimum waduk
- tampung_efektif : Daya tampung efektif waduk

Tabel 3.2 digunakan menyimpan data tahun pengukuran dan tingkat ketinggian air pada tahun pengukuran tersebut untuk waduk

tertentu. Tabel ini menyimpan id level air, nomor waduk, tahun pengukuran, level air tertinggi dan level air terendah.

Tabel 3.2 Tabel water_level

Field	Type	Allow Null
id_level	int	No
no_waduk	int	No
tahun	char(4)	No
HWL_EL	float	No
LWL_EL	float	No

Keterangan :

- id_level : Nomor urut untuk tahun data pengukuran dari waduk tertentu
- no_waduk : Nomor identitas waduk
- tahun : Tahun pengukuran dilakukan
- HWL_EL, LWL_EL : Tingkat ketinggian air pada tahun pengukuran tertentu

Tabel 3.3 digunakan untuk menyimpan data lokasi patok yang digunakan sebagai titik referensi untuk pengukuran melintang. Tabel ini menyimpan nama patok, lokasi patok dan ketinggian patok.

Tabel 3.3 Tabel lokasi_point

Field	Type	Allow Null
no_waduk	int	No
no_point	char(10)	No
x	float	No
y	float	No
z	float	No

Keterangan :

- no_waduk : Nomor identitas waduk
- no_point : Nomor identitas patok acuan
- x,y,z : lokasi patok dan ketinggian elevasi patok

Tabel 3.4 digunakan untuk menyimpan data pasangan patok yang digunakan untuk pengukuran melintang kedalaman air waduk. Tabel

ini berisi nama *cross point*, patok awal, patok akhir dan jarak antar patok.

Tabel 3.4 Tabel *cross_point*

Field	Type	Allow Null
no_waduk	int	No
no_cross	int	No
start_point	char(10)	No
end_point	char(10)	No
length	float	No

Keterangan:

- no_waduk : Nomor identitas waduk
- no_cross : Nomor identitas *cross point*
- start_point : Nama patok awal acuan pengukuran
- end_point : Nama patok akhir acuan pengukuran
- length : Jarak patok awal dan patok akhir

Tabel 3.5 digunakan untuk menyimpan data kedalaman air dan lokasi pengukuran hasil pengukuran lapang. Data ini meliputi data *cross point* pengukuran, tahun pengukuran, jarak ukur dari patok awal, kedalaman air. Tabel ini digunakan untuk menyimpan dokumentasi data hasil pengukuran lapang.

Tabel 3.5 Tabel *ukur_lapang*

Field	Type	Allow Null
no_waduk	int	No
no_cross	int	No
tahun	char(4)	No
jarak_ukur	float	No
z	float	No

Keterangan:

- no_waduk : Nomor identitas waduk
- no_cross : Nomor identitas *cross point* acuan
- tahun : Tahun pengukuran lapang
- jarak_ukur : Jarak pengukuran dari patok awal
- z : Kedalaman air untuk jarak ukur tertentu

Tabel 3.6 digunakan untuk menyimpan data spasial hasil pengolahan data lapang yang telah diubah dalam bentuk titik x,y,z dan tahun pengukuran berdasarkan data tahun pengukuran yang tersimpan dalam tabel level air. Data spasial tersebut merepresentasikan lokasi pengukuran dan kedalaman air.

Tabel 3.6 Tabel spasial_data_saver

Field	Type	Allow Null
id_level	int	No
x	decimal	No
y	decimal	No
z	float	No

Keterangan:

id_level : Nomor urut dari tabel level air untuk tahun data pengukuran dari waduk tertentu
 x,y : Lokasi pengukuran
 z : Kedalaman air hasil pengukuran lapang

Struktur tabel dan relasi antar tabel ditunjukkan seperti pada Gambar 3.2.

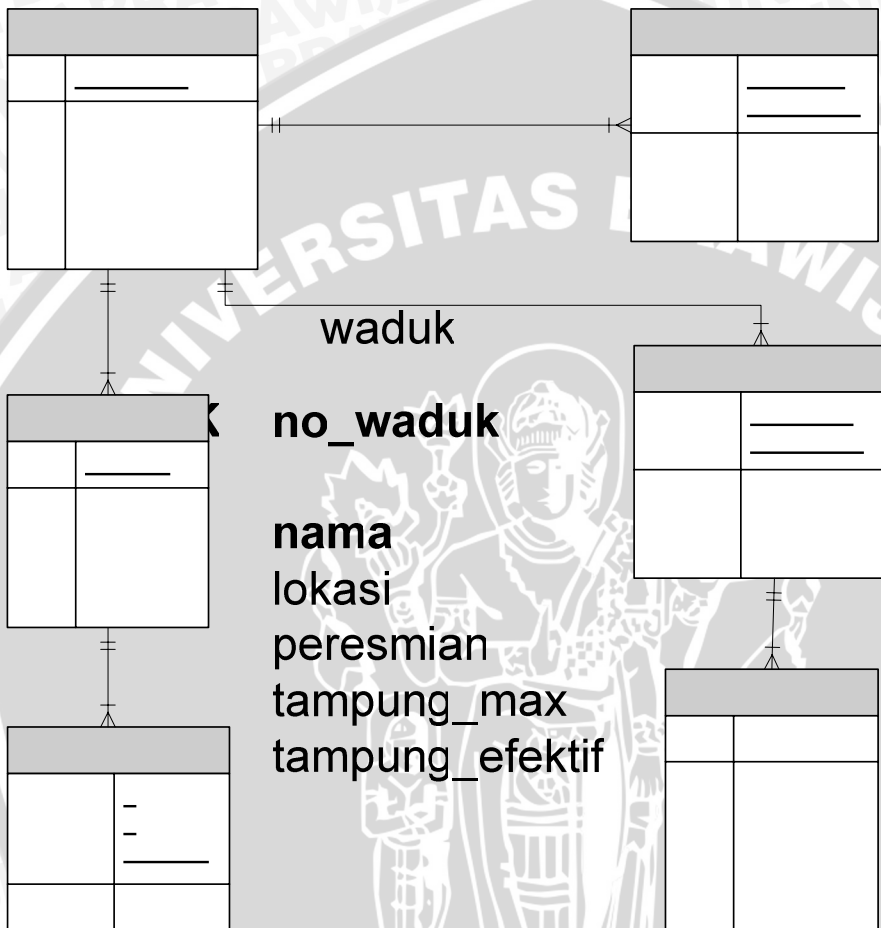
3.4 Perancangan Sistem

Sistem yang dirancang terdiri dari proses penyimpanan data lapang, proses prediksi data dan proses pemetaan data. Pengujian sistem dilakukan dengan pengujian tingkat kesalahan prediksi data dan hasil pemetaan data.

3.4.1 Proses Penyimpanan Data

Data hasil pengukuran lapang disimpan dalam tabel ukur_lapang untuk tahun pengukuran tertentu malui proses input. Proses ini juga melakukan proses penyimpanan data ke dalam tabel spasial_data_saver berdasarkan data lapang yang dimasukkan. Data lapang tersebut disimpan dalam tabel spasial_data_saver dalam bentuk data spasial titik (x,y,z). Nilai yang terdapat dalam x dan y merupakan lokasi pengukuran dan z merupakan nilai kedalaman air

hasil pengukuran. Proses ini menggunakan perintah query ke tabel dalam basis data yang dituju. Contoh query yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.2 Struktur basis data

```
INSERT INTO ukur_lapang (no_waduk ,no_cross,
tahun, jarak_ukur, z) values (1,1, '2005', 3,4);

INSERT INTO spatial_data_saver (id_level, x,
y, z) values (1, ,134,200,4);
```

Gambar 3.3 Query penyimpanan data

Setelah proses pemasukan data selesai, proses selanjutnya yaitu prediksi data dan pemetaan dapat dilakukan untuk tahun pengukuran yang diinginkan.

3.4.2 Prediksi Data

Interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) merupakan metode interpolasi yang memanfaatkan bobot dan nilai dari masing-masing data referensi yang berada di sekitar titik yang dicari untuk menentukan nilai yang tidak diketahui tersebut. Langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Menentukan lokasi titik yang belum memiliki nilai kedalaman air dalam batas tertentu.
2. Menentukan data terdekat yang berada disekitar titik yang dicari dengan jumlah tertentu yang besarnya tetap. Penentuan jumlah titik yang akan digunakan berdasarkan ketepatan hasil prediksi menggunakan sejumlah titik tertentu. Jumlah titik referensi yang akan digunakan untuk uji ketepatan prediksi data yaitu 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 data.
3. Menentukan jarak dari masing-masing data referensi terhadap lokasi prediksi menggunakan Persamaan 2.4 untuk menghitung jarak du buah titik.
4. Menentukan bobot dari masing-masing data referensi menggunakan Persamaan 2.3 untuk bobot data referensi dalam IDW. Penentuan bobot ini menggunakan parameter eksponensial dengan nilai 2 seperti yang telah digunakan dalam beberapa penelitian sebelumnya.
5. Setelah bobot dari masing-masing data referensi diperoleh, proses prediksi data menggunakan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) dijalankan.
6. Hasil prediksi ini kemudian dipetakan kedalam bentuk gambar melalui proses pemetaan.

Data yang digunakan dalam proses prediksi ini berupa data lokasi berupa x,y dan kedalaman z, sehingga berdasarkan Persamaan 2.2 persamaan interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) yang digunakan menjadi:

$$Z_{predicted}((x_0, y_0)) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot Z((x_i, y_i)) \quad (3.1)$$

$Z_{\text{predicted}}$ merupakan nilai dari posisi (x_0, y_0) yang belum diketahui nilainya. Sedangkan untuk menentukan nilai bobot dari masing-masing nilai referensi $(w(x_i, y_i)_i)$ diperlukan jarak dari setiap lokasi data referensi dengan lokasi nilai yang dicari berdasarkan Persamaan 2.4. Persamaan jarak dari dua buah titik menjadi:

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (3.2)$$

d_i merupakan jarak data ke- i terhadap lokasi prediksi, (x_0, y_0) merupakan lokasi prediksi dan (x_i, y_i) merupakan lokasi data ke- i . Setelah jarak dari lokasi titik yang dicari dengan lokasi data referensi diketahui maka bobot dari data referensi dapat ditentukan.

Algoritma yang dapat disusun untuk prediksi data menggunakan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* ditunjukkan dalam pseudocode pada Gambar 3.4. Masukan untuk algoritma ini yaitu lokasi titik yang dicari (x_0, y_0) dan keluarannya yaitu nilai kedalaman air dari titik tersebut ($Z_{\text{predicted}}(x_0, y_0)$).

Masukan : posisi (x, y) untuk nilai yang dicari
 Keluaran : nilai kedalaman air untuk posisi (x, y)

```

1  IDW(titik  $x_0, y_0$ )
2  begin
3    kedalaman  $\leftarrow 0$ ;
4    dapatkan n titik terdekat dengan titik  $x_0, y_0$ ;
5    (panggil prosedur nearest (n, titik  $x_0, y_0$ ))
6    for setiap n titik terdekat do
7      begin
8        dapatkan bobot titik  $x_i, y_i \rightarrow w_i$ ;
9        (panggil fungsi weight( $d_i$ , jarak[n]))
10       kedalaman  $\leftarrow$  kedalaman +  $w_i$  * nilai  $Z(x_i, y_i)$ ;
11     end;
12   return kedalaman;
end;
```

Gambar 3.4 Pseudocode algoritma IDW

Keterangan:

- n = jumlah titik referensi untuk acuan prediksi data,
- w_i = bobot dari masing-masing titik referensi terhadap lokasi titik yang dicari,

$z(x_i, y_i)$ = nilai kedalaman air dari masing-masing titik referensi. Algoritma ini disusun berdasarkan persamaan interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) pada Persamaan 3.1.

Algoritma untuk menentukan titik-titik yang terdekat dengan lokasi titik yang dicari ditunjukkan dalam pseudocode pada Gambar 3.5. Masukan untuk algoritma ini yaitu lokasi titik yang dicari (x_0, y_0) dan jumlah data referensi yang akan digunakan. Keluaran algoritma ini yaitu data referensi prediksi data.

```
Masukan : titik  $x_0, y_0$  dan jumlah titik yang dicari
Keluaran : titik-titik di sekitar titik  $x_0, y_0$ 

1 nearest (n, titik  $x_0, y_0$ )
2 begin
3   d[]  $\leftarrow$  0;
4   for i  $\leftarrow$  1 to n do
5     begin
6       baca n data dari basis data  $\rightarrow$  titik[i];
7       hitung jarak titik[i] dengan  $x_0, y_0 \rightarrow$  d[i];
8       (panggil fungsi distance(titik[i], (  $x_0, y_0$ )))
9     end;
10
11  for setiap data dalam basis data do
12    begin
13      hitung jarak p(x,y) dengan  $x_0, y_0 \rightarrow$  temp;
14      (panggil distance(p(x,y), (  $x_0, y_0$ )))
15      for j  $\leftarrow$  1 to n do
16        begin
17          if temp < d[j] then
18            begin
19              d[j]  $\leftarrow$  temp;
20              titik[j]  $\leftarrow$  p;
21            end;
22          go to SELESAI;
23        end;
24      SELESAI:
25    end;
26  end;
```

Gambar 3.5 Pseudocode algoritma pencarian titik terdekat

Keterangan:

(x_0, y_0) = lokasi titik yang akan diprediksi nilai kedalamannya,

$d[i]$ = jarak dari setiap data referensi,

$p(x, y)$ = sebuah data lokasi dan kedalaman hasil pengukuran yang akan dihitung jaraknya terhadap (x_0, y_0) ,

temp = variabel penyimpanan sementara untuk jarak sebuah data ($p(x, y)$) dari data kedalaman air terhadap (x_0, y_0) ,

n = jumlah titik yang terdekat dengan (x_0, y_0) .

Algoritma untuk menentukan jarak dua buah titik yang digunakan untuk menghitung jarak titik yang dicari dengan sebuah titik referensi ditunjukkan dalam pseudocode pada Gambar 3.6. Masukan dari algoritma ini yaitu dua buah titik dan keluarannya adalah jarak antara kedua titik yang dicari tersebut.

```
Masukan : titik awal dan titik akhir
Keluaran : jarak 2 titik (distance( $d_i$ ))

1 distance (( $x_{akhir}, y_{akhir}$ ), ( $x_{awal}, y_{awal}$ ))
2 begin
3      $d_i \leftarrow \text{sqrt}((x_{akhir} - x_{awal})^2 + (y_{akhir} - y_{awal})^2)$ 
4     return  $d_i$ ;
5 end;
```

Gambar 3.6 Pseudocode algoritma penghitungan jarak 2 titik

sqrt merupakan fungsi untuk menghitung nilai akar dari suatu nilai. Algoritma ini disusun berdasarkan persamaan garis linear untuk dua buah titik dalam Persamaan 3.2.

Algoritma untuk penentuan bobot data referensi ditunjukkan dalam pseudocode pada Gambar 3.7. Masukan untuk algoritma ini yaitu jarak sebuah titik referensi dan jarak untuk seluruh titik referensi, dan keluarannya adalah bobot data referensi. Algoritma ini disusun berdasarkan Persamaan 2.3 untuk penentuan bobot titik dalam interpolasi IDW.

Proses prediksi data menggunakan prosedur dan fungsi diatas dilakukan untuk lokasi di dalam batasan tertentu sesuai batas luar data. Setelah seluruh proses prediksi data selesai, hasil dari prediksi kemudian dipetakan dalam proses pemetaan.

3.4.3 Pemetaan Data

Pemetaan data merupakan bagian yang memanfaatkan proses prediksi data untuk menentukan nilai yang akan dipetakan. Nilai-nilai yang dihasilkan dalam proses prediksi kemudian ditampilkan menggunakan grafik OpenGL menggunakan primitif *triangle strip* (deret segitiga terhubung). Proses pemetaan ini dilakukan untuk seluruh area waduk untuk penggambaran data dengan jarak tertentu.

Masukan : jarak untuk point i (d_i), seluruh jarak titik referensi (jarak[n])

Keluaran : bobot titik i (w_i)

```
1  weight ( $d_i$ , jarak[n])
2  begin
3      sum_distance  $\leftarrow$  0;
4      for setiap jarak ( $d_j$ ) do
5          begin
6              sum_distance  $\leftarrow$  sum_distance+(1/ $d_j$ );
7          end;
8           $w_i \leftarrow$  (1/ $d_i$ )/sum_distance;
9          return  $w_i$ ;
10 end;
```

Gambar 3.7 Pseudocode algoritma penentuan bobot suatu titik referensi

Proses pemetaan data spasial kedalam air waduk sebagai berikut:

1. Penentuan jarak penggambaran setiap data untuk mendapatkan detail gambar tertentu.
2. Menentukan batas terluar untuk area pemetaan data.
3. Penentuan jumlah titik referensi untuk proses prediksi.
4. Prediksi data untuk seluruh area dalam batas yang telah ditentukan.
5. Gambar bentuk *triangle strip* untuk memetakan seluruh data kedalam air.
6. Pengulangan proses pemetaan untuk jumlah titik referensi yang berbeda.

Penentuan lokasi untuk prediksi data dilakukan dengan arah yang berlawanan. Apabila penentuan lokasi dimulai dari x minimum maka penambahan dilakukan dengan jarak yang ditentukan hingga x

maksimum. Setelah mencapai nilai x maksimum, maka arah penentuan lokasi prediksi data berlawanan dengan sebelumnya yaitu dilakukan pengurangan sebesar jarak yang ditentukan. Proses penentuan lokasi prediksi data ini akan membuat urutan data lokasi prediksi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Urutan penentuan lokasi prediksi data

3.5 Rancangan Antarmuka

Antarmuka yang akan dibangun memiliki dua bagian utama yaitu bagian inialisasi untuk prediksi data dan pemetaan hasil prediksi data. Rancangan antarmuka untuk bagian inialisasi prediksi data ditunjukkan pada gambar 3.9. Bagian ini akan diisi dengan data yang diperlukan untuk pemanggilan data kedalaman air hasil pengukuran lapangan (1) dan penentuan jumlah titik referensi (2).

A screenshot of a software interface for data initialization. It features four input fields stacked vertically: "ID Number of DAM", "Name of Dam", "Data Year", and "Amount of Reference Points". Each field has a corresponding text box to its right. Below the input fields are two buttons: "Load" and "Cancel". A box labeled "1" points to the first three input fields, and a box labeled "2" points to the "Amount of Reference Points" field.

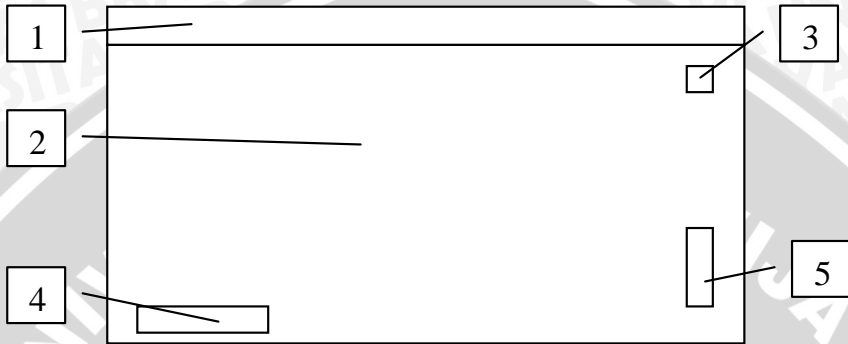
Gambar 3.9 Rancangan antarmuka inialisasi prediksi data

Proses prediksi data akan diletakkan pada tombol *load* beserta proses pembacaan data kedalaman air waduk hasil pengukuran lapangan.

Rancangan antarmuka untuk pemetaan hasil prediksi data seperti pada Gambar 3.10. Bagian dari antarmuka pemetaan data kedalaman air sebagai berikut:

1. Nama dan tahun data peta

2. Area pemetaan data
3. Penunjuk arah
4. Skala peta
5. Legenda kedalaman air waduk



Gambar 3.10 Rancangan antarmuka pemetaan hasil prediksi data

3.6 Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian perangkat lunak dilakukan dengan melihat tingkat kesalahan perhitungan dalam proses prediksi data menggunakan metode evaluasi prediksi data dengan persamaan yang telah dijelaskan di bab 2, yaitu Persamaan 2.5 untuk *mean error (ME)*, Persamaan 2.6 untuk *mean absolute error (MAE)* dan Persamaan 2.7 untuk *goodness of prediction statistic (G)*. Pengukuran kesalahan digunakan untuk mengetahui ketepatan dari proses prediksi data kedalaman air dengan jumlah titik referensi tertentu.

Evaluasi dilakukan dengan mengambil sebagian data kedalaman air hasil pengukuran lapang yang dimiliki. Jumlah data yang digunakan untuk proses evaluasi sebanyak 10% dari total data kedalaman air hasil pengukuran lapang. Jumlah ini merupakan jumlah minimum dari sampel data yang dapat mewakili seluruh populasi data (Gay, 1976). Pengambilan data sampel untuk evaluasi menggunakan metode pemilihan acak.

Data lokasi yang terpilih kemudian nilai kedalaman airnya diprediksi ulang dengan menggunakan titik-titik terdekat yang berada disekitarnya. Data kedalaman air hasil prediksi kemudian dihubungkan dengan data kedalaman air hasil pengukuran lapang untuk lokasi tersebut menggunakan persamaan *mean error (ME)*, *mean absolute error (MAE)* dan *goodness of prediction statistic (G)*.

Evaluasi dilakukan terhadap proses prediksi data dengan menggunakan jumlah titik referensi yang berbeda untuk prediksi data evaluasi yang sama.

Data sampel dan hasil prediksinya akan disimpan dan ditampilkan seperti pada Tabel 3.7. Hasil perhitungan tingkat kesalahan akan ditampilkan dalam Tabel 3.8.

Tabel 3.7 Tabel sampel data evaluasi prediksi data

jumlah titik	x	y	$z(x_i, y_i)$	$z^*(x_i, y_i)$	$z^* - z$

Keterangan:

- jumlah titik : Jumlah titik referensi prediksi data
- x,y : Lokasi data sampel
- $z(x_i, y_i)$: Kedalaman air hasil pengukuran lapang
- $z^*(x_i, y_i)$: Kedalaman air hasil prediksi data untuk lokasi x,y
- $z^* - z$: selisih data hasil prediksi dengan data pengukuran lapang untuk lokasi x,y

Tabel 3.8 Tabel evaluasi prediksi data

No	Titik Referensi	ME	MAE	G

Keterangan:

- Titik Referensi : Jumlah titik yang digunakan sebagai referensi dalam proses prediksi data
- ME : *mean error*
- MAE : *mean absolute error*
- G : *goodness of prediction statistic*

Evaluasi dilakukan beberapa kali dengan menggunakan data uji hasil pengambilan sampel yang berbeda dengan jumlah data yang sama. Jumlah titik referensi yang berbeda juga digunakan untuk prediksi data evaluasi setiap data hasil pengambilan sampel yang berbeda. Hasil dari setiap evaluasi untuk beberapa data sampel yang berbeda kemudian ditentukan nilai rata-ratanya untuk mendapatkan

rata-rata *mean error*, *mean absolute error* dan *goodness of prediction statistic*.

Selain melihat tingkat kesalahan yang dihasilkan, uji perangkat lunak juga dilakukan dengan melihat hasil pemetaan yang ditampilkan. Perbandingan dilakukan berdasarkan jumlah titik referensi yang digunakan untuk prediksi data dalam proses pemetaan data.

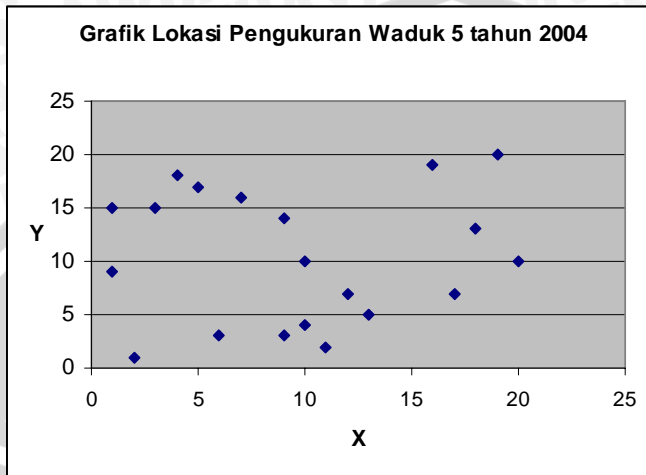
3.7 Contoh Data dan Prediksi Data

Data yang digunakan sebagai objek penelitian ini adalah data spasial titik yang berasal dari pengolahan data hasil pengukuran lapang. Contoh data spasial yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada Tabel 3.9. Data yang digunakan dalam contoh ini lebih sederhana dibandingkan dengan data yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 3.9 Contoh data spasial dalam tabel `spatial_data_saver`

no_waduk	tahun	x	y	z
5	2004	2	1	3.5
5	2004	6	3	3.5
5	2004	10	4	3
5	2004	12	7	4
5	2004	1	15	3
5	2004	16	19	1
5	2004	20	10	2.5
5	2004	5	17	2
5	2004	9	14	3
5	2004	18	13	3.6
5	2004	7	16	4
5	2004	19	20	1.5
5	2004	1	9	2.7
5	2004	3	15	3.2
5	2004	11	2	3
5	2004	4	18	4
5	2004	10	10	4
5	2004	13	5	3
5	2004	9	3	2.8
5	2004	17	7	2

Data lokasi tersebut dapat di gambarkan dalam area koordinat (x,y) untuk lokasi pengukuran seperti pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11 Contoh penggambaran lokasi pengukuran

Lokasi yang ditampilkan pada grafik tersebut hanya pada bagian tertentu dengan data kedalaman tertentu hasil pengukuran lapang. Nilai untuk lokasi yang lain dapat ditentukan dengan melakukan prediksi data menggunakan data yang tersimpan pada lokasi-lokasi yang telah diketahui tersebut seperti pada Tabel 3.9. Contoh prediksi data kedalaman air untuk lokasi (8,12):

Prediksi Data Menggunakan 10 Titik Terdekat

Bobot untuk masing-masing lokasi referensi terhadap lokasi titik yang dicari dapat dilihat pada Tabel 3.10. Contoh penghitungan jarak menggunakan Persamaan 3.2:

$$d_1 = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}$$

$$d_1 = \sqrt{(10 - 8)^2 + (4 - 12)^2} = \sqrt{(2)^2 + (-8)^2} = \sqrt{68} = 8.25$$

Contoh penghitungan bobot menggunakan Persamaan 2.3:

$$w(10,4) = \frac{1/d_1^2}{\sum_{i=1}^{10} 1/d_i^2}$$

$$w(10,4) = (1/d_{(10,4)}^2) / (1/d_{(10,4)}^2 + 1/d_{(12,7)}^2 + 1/d_{(1,15)}^2 + 1/d_{(5,17)}^2 + 1/d_{(9,14)}^2 + 1/d_{(7,16)}^2 + 1/d_{(1,9)}^2 + 1/d_{(3,15)}^2 + 1/d_{(4,18)}^2 + 1/d_{(10,10)}^2)$$

$$w(10,4) = (0,0156) / (0,0156 + 0,0244 + 0,0172 + 0,0294 + 0,2 + 0,0588 + 0,0172 + 0,0294 + 0,0192 + 0,125) = \frac{0,0156}{0,5362} = 0,0291$$

Tabel 3.10 Bobot 10 titik terdekat dengan titik (8,12)

Lokasi Dicari	Referensi	Jarak (d)	1/d ²	w _i
(8,12)	(10,4)	8.25	0.0156	0.0291
(8,12)	(12,7)	6.40	0.0244	0.0455
(8,12)	(1,15)	7.62	0.0172	0.0321
(8,12)	(5,17)	5.83	0.0294	0.0548
(8,12)	(9,14)	2.24	0.2000	0.3730
(8,12)	(7,16)	4.12	0.0588	0.1097
(8,12)	(1,9)	7.62	0.0172	0.0321
(8,12)	(3,15)	5.83	0.0294	0.0548
(8,12)	(4,18)	7.21	0.0192	0.0358
(8,12)	(10,10)	2.83	0.1250	0.2331
$\sum_{i=1}^{10} 1/d_i^2$			0.5362	

Prediksi data untuk lokasi (8,12) dengan menggunakan 10 titik terdekat:

$$Z_{predicted}((8,12)) = \sum_{i=1}^{10} w_i \cdot Z((x, y)_i)$$

$$Z_{predicted}((8,12)) = w_{(10,4)} * z_{(10,4)} + w_{(12,7)} * z_{(12,7)} + w_{(1,15)} * z_{(1,15)} + w_{(5,17)} * z_{(5,17)} + w_{(9,14)} * z_{(9,14)} + w_{(7,16)} * z_{(7,16)} + w_{(1,9)} * z_{(1,9)} + w_{(3,15)} * z_{(3,15)} + w_{(4,18)} * z_{(4,18)} + w_{(10,10)} * z_{(10,10)}$$

$$\begin{aligned}Z_{\text{predicted}}((8,12)) &= 0,0291 * 3 + 0,0455 * 4 + 0,0321 * 3 + 0,0548 * 2 \\ &+ 0,3730 * 3 + 0,1097 * 4 + 0,0321 * 2,7 + 0,0548 * 3,2 \\ &+ 0,0358 * 4 + 0,2331 * 4 \\ &= 3.37063\end{aligned}$$

Nilai yang dihasilkan dari prediksi data untuk lokasi (8,12) menggunakan 10 data terdekat sebagai data referensi yaitu 3,37063.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB IV IMPLEMENTASI DAN PEMBAHASAN

4.1 Implementasi

4.1.1 Implementasi Basis Data

Pada Bab 3 telah dijelaskan mengenai rancangan tabel dan relasi antar tabel dari basis data yang terdiri dari 6 buah tabel. Tabel-tabel tersebut yaitu tabel *waduk*, tabel *level_air*, tabel *lokasi_point*, tabel *cross_point*, tabel *ukur_lapang*, tabel *spatial_data_saver*. Definisi dari masing-masing tabel dapat dilihat pada Sub Bab 3.3.

Tabel-tabel tersebut beserta relasinya diimplementasikan dengan menggunakan Microsoft SQL Server 2000.

4.1.2 Implementasi Program

Penyusunan program untuk prediksi data spasial memiliki beberapa bagian proses yang telah dirancang dan dijelaskan pada Sub Bab 3.4. Sistem operasi yang digunakan dalam implementasi perangkat lunak adalah Microsoft Windows XP Profesional dan *software* pemrograman yang digunakan yaitu Borland Delphi 7. Perangkat lunak yang disusun untuk implementasi program berbasis aplikasi *desktop*.

Implementasi dari proses-proses ini memanfaatkan struktur data berupa *record*, *array* dan *linked-list*. Definisi dari struktur data dan variabel yang digunakan secara global dalam implementasi program disimpan dalam unit *uGlobal.pas* seperti pada Gambar 4.1. Tipe data yang didefinisikan yaitu *Tpoint2D* dengan tipe *record* untuk data berbentuk titik 2 dimensi, *Tpoint3D* dengan tipe *record* untuk data berbentuk titik 3 dimensi, dan *PData* dengan tipe *linked-list* dengan data berupa titik 3 dimensi yang digunakan untuk menyimpan data hasil prediksi data. Tipe *linked-list* digunakan untuk menyediakan variabel yang besarnya dinamis sesuai dengan kebutuhan untuk penyimpanan data hasil prediksi data yang jumlahnya tidak dapat ditentukan secara pasti sebelum proses dilakukan.

Variabel global yang didefinisikan dalam unit *uGlobal.pas* yang digunakan untuk implementasi program dan fungsinya dapat dilihat pada Tabel 4.1.


```

type
  TPoint2D = Record
    x,y:double;
  end;

type
  TPoint3D = Record
    x,y,z:double;
  end;

type
  PData = ^Data;
  Data = Record
    pSpatial : TPoint3D;
    next : PData;
  end;

```

Gambar 4.1 Definisi struktur data

Tabel 4.1 Definisi variabel global dalam unit uGlobal.pas

Variabel	Tipe	Keterangan
no_dam	string	Nomor identitas waduk
name_dam	string	Nama waduk
data_year	string	Tahun pengukuran lapang
ref_point	integer	Jumlah titik referensi
draw_mode	integer	Pilihan penggambaran data asli atau pemetaan area
zoom	real	Perbesaran tampilan peta
maxData	Tpoint2D	Nilai maksimum untuk lokasi pengukuran lapang
minData	Tpoint2D	Nilai minimum untuk lokasi pengukuran lapang
minLevel	real	Level air terendah untuk tahun data terpilih
maxLevel	real	Level air tertinggi untuk tahun data terpilih
distMX	real	Jarak antara minimum x dan maksimum x
distMY	real	Jarak antara minimum y dan maksimum y

dist	array of real	Jarak setiap data referensi dengan lokasi titik yang dicari
rP	array of Tpoint3D	Data referensi prediksi data
rB	array of real	Data batas tepi untuk menentukan yMin, yMax dari lokasi x tertentu
nData	integer	Jumlah data pengukuran lapang
nBorder	integer	Jumlah data tepi waduk
bdData	array of Tpoint2D	Penyimpan data tepi waduk
refData	array of Tpoint3D	Penyimpan data referensi/data hasil pengukuran lapang
FSaver, LSaver	PData	Penyimpan hasil prediksi data dengan jumlah titik referensi tertentu

Proses yang dilakukan dalam prediksi data kedalaman air waduk yaitu:

1. Pembacaan data tepi dan data kedalaman air hasil pengukuran lapang dari waduk tertentu.
2. Penentuan batas area prediksi data.
3. Proses prediksi data.
4. Pemetaan data hasil prediksi.

Proses-proses ini merupakan bagian utama dari implementasi prediksi data spasial menggunakan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting (IDW)*.

4.1.2.1 Pembacaan Data Tepi Waduk

Proses pembacaan data tepi digunakan untuk membaca data tepi dari suatu waduk yang tersimpan dalam tabel lokasi_point yang merupakan data patok acuan pengukuran lapang. Proses ini dilakukan oleh prosedur loadBorder(). Referensi yang digunakan untuk pembacaan data tepi adalah nomor identitas waduk yang akan diolah datanya.

Langkah pertama yang dilakukan adalah menghitung jumlah data tepi waduk. Penghitungan jumlah data tepi waduk dapat dilihat pada Gambar 4.2

```

.....
gQuery.Close;
gQuery.SQL.Clear;
gQuery.SQL.Add('SELECT COUNT(x) AS nBorder
FROM lokasi_point WHERE no_waduk='+no_dam);
gQuery.Open;
nBorder := gQuery.fieldbyname('nBorder').AsInteger;
.....

```

Gambar 4.2 Penghitungan jumlah data tepi waduk

Pembacaan data tepi dilakukan dengan mengirimkan query agregasi dengan fungsi `count()` ke basis data waduk untuk membaca tabel `lokasi_point`. Hasil query yang berupa jumlah data tepi waduk disimpan dalam variabel `nBorder`.

Langkah selanjutnya dalam prosedur `loadBorder()` yaitu membaca data tepi waduk dari basis data waduk. Pembacaan data tepi waduk dapat dilihat pada Gambar 4.3.

```

.....
gQuery.Close;
gQuery.SQL.Clear;
gQuery.SQL.Add('SELECT x as x,y as y,z as z FROM
lokasi_point WHERE no_waduk='+no_dam);
gQuery.Open;
SetLength(bdData,nBorder+1);
for i:=0 to nBorder-1 do
begin
  bdData[i].x:= gQuery.fieldbyname('x').AsFloat;
  bdData[i].y:= gQuery.fieldbyname('y').AsFloat;
  Next;
end;
bdData[nBorder]:=bdData[0];
.....

```

Gambar 4.3 Pembacaan data tepi waduk

Hasil query kemudian disimpan kedalam variabel `bdData` yang besarnya didefinisikan sesuai banyaknya data tepi yang dimiliki menggunakan fungsi `SetLength(bdData,nBorder+1)`. Bagian terakhir dari proses pembacaan data tepi adalah penambahan sebuah data tepi terakhir yang berisi data tepi pertama untuk memenuhi

pasangan dua buah data tepi, misalnya pasangan data ke-1 dengan ke-2, data ke-5 dengan ke-6, data terakhir dengan data pertama, yang digunakan untuk penentuan batas luas area prediksi data.

4.1.2.2 Pembacaan Data Kedalaman Air Waduk

Proses pembacaan data kedalaman air waduk digunakan untuk membaca data kedalaman air hasil pengukuran lapang. Proses ini dilakukan oleh prosedur `loadRef()`. Referensi yang digunakan untuk proses pembacaan ini yaitu nomor identitas level air yang menunjukkan nomor identitas waduk dan tahun data yang akan digunakan untuk proses prediksi data.

Bagian awal dari prosedur `loadRef()` adalah penentuan nilai maksimum dan minimum lokasi data kedalaman air hasil pengukuran lapang. Penentuan nilai maksimum dan minimum data dapat dilihat pada Gambar 4.4.

```
.....  
gQuery.Close;  
gQuery.SQL.Clear;  
gQuery.SQL.Add('SELECT MAX(x) AS maxX, MIN(x)AS  
minX, MAX(y) AS maxY, MIN(y) AS minY FROM  
spatial_data_saver WHERE id_level='+id_level);  
gQuery.Open;  
maxData.x:=gQuery.fieldbyname('maxX').AsFloat;  
maxData.y:=gQuery.fieldbyname('maxY').AsFloat;  
minData.x:=gQuery.fieldbyname('minX').AsFloat;  
minData.y:=gQuery.fieldbyname('minY').AsFloat;  
.....
```

Gambar 4.4 Penentuan nilai maksimum dan minimum lokasi data

Penentuan nilai maksimum dan minimum data dilakukan dengan mengirimkan query agregasi dengan fungsi `max()` untuk `maxData` dan `min()` untuk `minData`. Hasil query digunakan untuk menghitung jarak antara lokasi minimum dan maksimum yaitu `distMX` untuk jarak x dan `distMY` untuk jarak y. Jarak nilai maksimum dan minimum kemudian disesuaikan dengan tinggi dan lebar form yang akan digunakan untuk pemetaan data hasil prediksi.

Bagian kedua dari prosedur `loadRef()` adalah penghitungan jumlah data kedalaman air waduk. Penghitungan jumlah data

kedalaman air dilakukan dengan mengirimkan query agregasi dengan fungsi `count()` ke basis data waduk. Hasil query ini disimpan oleh variabel `nData`. Penghitungan jumlah data kedalaman air dapat dilihat pada Gambar 4.5.

```
.....  
gQuery.Close;  
gQuery.SQL.Clear;  
gQuery.SQL.Add('SELECT COUNT(z) AS nData FROM  
spatial_data_saver WHERE id_level='+id_level);  
gQuery.Open;  
nData := gQuery.fieldbyname('nData').AsInteger;  
.....
```

Gambar 4.5 Penentuan jumlah data kedalaman air waduk

Bagian ketiga dari prosedur `loadRef()` adalah pembacaan data tingkat ketinggian air dari waduk. Data yang dihasilkan yaitu `minLevel` untuk tingkat ketinggian air terendah (`LWL_EL`) dan `maxLevel` untuk tingkat ketinggian air tertinggi (`HWL_EL`). Pembacaan data tingkat ketinggian air waduk dapat dilihat pada Gambar 4.6.

```
.....  
gQuery.Close;  
gQuery.SQL.Clear;  
gQuery.SQL.Add('SELECT HWL_EL, LWL_EL FROM  
level_air WHERE id_level='+id_level);  
gQuery.Open;  
  
maxLevel:=gQuery.fieldbyname('HWL_EL').AsFloat;  
minLevel:=gQuery.fieldbyname('LWL_EL').AsFloat;  
.....
```

Gambar 4.6 Pembacaan tingkat ketinggian air waduk

Bagian terakhir dari prosedur `loadRef()` adalah pembacaan data kedalaman air waduk yang dapat dilihat pada Gambar 4.7. Data kedalaman air hasil query kemudian disimpan ke variabel `array refData` yang panjangnya ditentukan menggunakan fungsi `SetLength (refData,nData)`.

```

.....
gQuery.Close;
gQuery.SQL.Clear;
gQuery.SQL.Add('SELECT x, y, z FROM
spatial_data_saver WHERE id_level='+id_level);
gQuery.Open;

SetLength(refData,nData);
for i:=0 to nData-1 do
begin
  refData[i].x:=gQuery.fieldbyname('x').AsFloat;
  refData[i].y:=gQuery.fieldbyname('y').AsFloat;
  refData[i].z:=gQuery.fieldbyname('z').AsFloat;
  Next;
end;
.....

```

Gambar 4.7 Pembacaan data kedalaman air waduk

4.1.2.3 Penentuan Batas Area Prediksi Data

Penentuan batas area prediksi digunakan untuk menentukan nilai y minimum dan y maksimum untuk sebuah nilai x dalam koordinat dua dimensi. Penentuan nilai y maksimum dan y minimum menggunakan data tepi waduk sebagai data referensi. Data referensi yang digunakan untuk menentukan nilai y adalah 2 buah data tepi yang terdekat dengan nilai x. Proses ini dilakukan untuk seluruh data tepi waduk sehingga ditemukan beberapa nilai y untuk sebuah nilai x. Penentuan pasangan titik untuk penentuan nilai batas tersebut dilakukan dalam prosedur `limitBorder(x)` dengan parameter nilai x yang akan dicari batasnya. Penentuan nilai y yang dimiliki oleh sebuah nilai x berdasarkan data tepi waduk dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Dasar pencarian pasangan titik yang digunakan untuk penentuan nilai y adalah nilai x berada diantara pasangan data tepi waduk. Misalkan nilai $x=585337.016$ yang akan dicari nilai y maksimum dan y minimumnya maka 2 buah titik terdekat setelah dicari dari data tepi waduk yaitu (585586.288, 9113803.731) dan (585336.989, 9113778.275).

Prosedur `limitBorder(x)` menggunakan variabel `dsX` untuk jarak antara x dicari dengan x referensi, `array rB[]` untuk nilai y yang ditemukan yang diinisialisasi dengan nilai nol pada awal

prosedur dan y_{Min} , y_{Max} untuk nilai y minimum dan y maksimum. Pasangan titik yang ditemukan dari data tepi `bdData` kemudian digunakan untuk menentukan besarnya sudut yang terbentuk dari dua titik tersebut dengan memanggil prosedur `AngleCalc(bdData[i], bdData[i+1])`. Sudut yang dihasilkan digunakan untuk menghitung besarnya nilai y dengan memanggil fungsi `findY(dsX, bdData[i], bdData[i+1])`. Nilai y yang dihasilkan kemudian dicari yang terbesar untuk y_{Max} dan terkecil untuk y_{Min} .

```

.....
j:=0;
for i:=0 to nBorder-1 do
begin
  if((x>bdData[i].x)and(x<bdData[i+1].x)or
    ((x<bdData[i].x)and(x>bdData[i+1].x))then
  begin
    AngleCalc(bdData[i],bdData[i+1]);
    dsX:=Abs(x-bdData[i].x);
    rB[j]:=findY(dsX,bdData[i],bdData[i+1]);
    Inc(j);
  end;
end;
.....

```

Gambar 4.8 Penentuan nilai y untuk x

Fungsi untuk menghitung besarnya sudut yang dibentuk oleh pasangan dua titik dan penentuan nilai y dari x yang dicari dapat dilihat pada Gambar 4.9 untuk prosedur `AngleCalc(bdData[i],bdData[i+1])` dan Gambar 4.10 untuk fungsi `findY(dsX,bdData[i],bdData[i+1])`.

Parameter yang digunakan prosedur `AngleCalc()` adalah titik awal $p1$ dan titik akhir $p2$. Fungsi trigonometri yang digunakan untuk menentukan besarnya sudut yang dibentuk oleh dua buah titik ($p1,p2$) adalah fungsi Arc Tangen dengan memanggil fungsi `math.ArcTan2(v,h)*(180/PI)` dengan h adalah jarak x dan v adalah jarak y . Hasil perhitungan sudut kemudian dikonversi dari format decimal ke format radian dengan menggunakan fungsi `Math.DegToRad(angle)`.

```

procedure AngleCalc(p1,p2 : TPoint2D);
var
  h,v : real;
begin
  h:=p2.x-p1.x; v:=p2.y-p1.y;
  if h<>0 then
    angle := math.ArcTan2(v,h)*(180/PI)
  else
    begin
      if p2.y>0 then
        angle := 90;
      if p2.y<0 then
        angle := -90;
    end;
  rAgl:= Math.DegToRad(angle);
end;

```

Gambar 4.9 Prosedur AngleCalc()

```

function findY(dx:Real; p1,p2:TPoint2D):Real;
var
  newY : Real;
begin
  newY:=0;
  if (angle=0) or (angle=180) then
    newY:=p1.y
  else if (angle=90) or (angle=-90) then
    newY:=p2.y
  else
    begin
      if Abs(angle)<90 then
        newY:=p1.y+((dx*(1/Cosecant(rAgl)))/
          (1/Secant(rAgl)));
      if Abs(angle)>90 then
        newY:=p1.y-((dx*(1/Cosecant(rAgl)))/
          (1/Secant(rAgl)));
    end;
  Result:=newY;
end;

```

Gambar 4.10 Fungsi findY()

Parameter yang digunakan fungsi ini yaitu jarak x dicari dengan x titik awal (dsx), titik awal $p1$ dan titik akhir $p2$. Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai y yaitu $p1.y \pm ((dsx * (1/\text{Cosecant}(rAgl))) / (1/\text{Secant}(rAgl)))$. Nilai yang ditemukan ditambahkan atau dikurangkan terhadap nilai y dari titik awal berdasarkan besarnya sudut yang dibentuk oleh titik $p1$ dan $p2$.

Proses pembacaan data tepi waduk, pembacaan data kedalaman air waduk dan penentuan batas area prediksi data termasuk dalam *pre-processing* dalam prediksi data spasial menggunakan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW). Proses-proses ini digunakan untuk menyiapkan data-data yang akan digunakan untuk prediksi data. Proses lain yang termasuk pada *pre-processing* adalah pengolahan data hasil pengukuran lapang yang berupa pembuatan data identitas waduk, penyimpanan data hasil pengukuran lapang dan konversi data lapang menjadi data spasial. Proses-proses ini dijalankan untuk menyediakan data yang digunakan dalam prediksi data. Proses konversi data lapang menjadi data spasial dapat dilihat pada Lampiran 1. Contoh data hasil pengukuran lapang dapat dilihat pada Lampiran 2 dan data hasil konversi data lapang dapat dilihat pada Lampiran 3.

4.1.2.4 Prediksi Data Kedalaman Air Waduk

Data yang dibutuhkan untuk prediksi data kedalaman air waduk telah disediakan oleh proses-proses dalam *pre-processing*. Data yang dihasilkan oleh proses-proses tersebut selanjutnya digunakan untuk prediksi data kedalaman air waduk yang dilakukan oleh prosedur `dataPrediction()`. Prosedur ini melakukan prediksi data untuk lokasi-lokasi yang belum memiliki data kedalaman air dalam batasan yang telah ditentukan oleh fungsi `limitBorder(x)`. Setiap lokasi yang dicari dikirimkan ke fungsi `idw(point)` untuk diprediksi kedalaman air dari lokasi tersebut. Prosedur `dataPrediction()` dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Jarak antara tiap lokasi prediksi data (`distPredict`) yaitu 25 meter. Arah pergerakan lokasi y jika nilai i ganjil maka lokasi y dimulai dari $yMin$ dengan ditambah 25, sedangkan jika nilai i genap maka lokasi y dimulai dari $yMax$ dengan dikurangi 25.

```

procedure dataPrediction();
var x,y : Integer; point : TPoint2D; z : real;
    Data : PData; i: integer;
begin
    .....
    x:=0; i:=0;
    while x<=Ceil(distMX) do
    begin
        Inc(i);
        //penghitungan y maksimum dan minimum untuk x
        limitBorder(x+minData.x);
        if (i mod 2)=0 then //y dimulai dari maksimum
        begin
            y:=Floor(yMin);
            while y<=Ceil(yMax) do
            begin
                point.x:=x+minData.x;
                point.y:=y;
                z:=idw(point); //prediksi kedalaman air
                //penyimpanan data hasil prediksi
                New(Data);
                Data^.pSpatial.x:=point.x;
                Data^.pSpatial.y:=point.y;
                Data^.pSpatial.z:=z;
                Data^.next:=nil;
                saveData(Data); //prosedur peyimpanan data
                //prediksi untuk lokasi sebelah kanan x
                point.x:=x+minData.x+distPredict;
                point.y:=y;
                z:=idw(point); //prediksi kedalaman air
                .....
                saveData(Data);
                y:=y+distPredict;
            end;
        end
    else //nilai i ganjil, y dimulai dari minimum
    begin
        y:=Ceil(yMax);
        while y>=Floor(yMin) do
        begin
            point.x:=x+minData.x;
            point.y:=y;

```

```

        z:=idw(point); //prediksi kedalaman air
        .....
        .....
        y:=y-distPredict;
    end;
end;
x:=x+distPredict;
end;
end;

```

Gambar 4.11 Prosedur dataPrediction()

Nilai y maksimum dan y minimum untuk setiap x ditentukan dengan memanggil prosedur limitBorder (x+minData.x). Setiap lokasi dalam batas area tersebut kemudian diprediksi data kedalaman airnya dengan memanggil fungsi idw(point). Prediksi data kedalaman air dilakukan untuk seluruh area yang telah ditentukan. Hasil prediksi data disimpan dalam variabel FSaver, LSaver dengan memanggil prosedur saveData(data). Prosedur saveData(data) dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan prosedur idw(point) dapat dilihat pada Gambar 4.13.

```

procedure saveData(p:PData);
begin
    if FSaver=nil then
    begin
        LSaver:=p; FSaver:=p;
    end
    else
    begin
        LSaver^.next:=p; LSaver:=p;
    end;
end;

```

Gambar 4.12 Prosedur saveData(data)

Parameter yang digunakan prosedur ini yaitu p yang berisi data lokasi dan data kedalaman air hasil prediksi data. Metode penyimpanan data ke variabel penyimpan data hasil prediksi data (FSaver, LSaver) menggunakan metode *insert-last*. Setiap data

kedalaman air dan lokasi data yang dihasilkan ditambahkan pada bagian paling belakang dari daftar data hasil prediksi. FSaver untuk data pertama hasil prediksi dan LSaver untuk data terakhir hasil prediksi data.

```
function idw(p:TPoint2D):Real;
var depth, wi : real;
    i : integer;
begin
    depth := 0;
    //pencarian titik referensi terdekat dengan p
    nearest(p);
    //penghitungan kedalaman air titik p
    for i:=0 to ref_point-1 do
    begin
        wi := weight(dist[i]);
        depth := depth+(wi*rP[i].z);
    end;
    //hasil fungsi idw dengan pembulatan 3 angka
    dibelakang koma
    Result:=RoundTo(depth,-3);
end;
```

Gambar 4.13 Fungsi idw(point)

Parameter dari fungsi idw(point) yaitu lokasi data yang akan diprediksi kedalaman airnya ($p(x, y)$). Bagian pertama dari fungsi idw(point) adalah menentukan titik-titik referensi yang terdekat dengan p dengan memanggil prosedur nearest(p). Jumlah titik referensi yang dicari jumlahnya ditentukan sebelum proses prediksi data dalam variabel ref_point. Setiap titik referensi kemudian dihitung bobotnya (w_i) dengan menggunakan fungsi weight() dengan parameter jarak antara p dengan titik referensi (dist[i]). Jarak antara titik p dengan titik referensi dihitung dengan menggunakan fungsi distance(p, refPoint[i]). Kedalaman air dari titik p dihitung dengan menjumlahkan hasil perkalian setiap nilai kedalaman air titik referensi dengan bobotnya. Hasil dari penjumlahan ini adalah nilai kembalian untuk fungsi idw() yang merupakan hasil prediksi kedalaman air untuk titik p.

Prosedur nearest(p) digunakan untuk menentukan titik-titik referensi yang terdekat dengan lokasi yang akan diprediksi data

kedalaman airnya. Banyaknya titik referensi sesuai dengan jumlah yang ditentukan oleh `ref_point`. Prosedur `nearest(p)` dapat dilihat pada Gambar 4.14.

```
procedure nearest(p:TPoint2D);
var point : TPoint3D;
    rDist : real;
    i,j : integer;
Label finish;
begin
    //inisialisasi titik referensi terdekat
    for i:=0 to ref_point-1 do
    begin
        rP[i]:= refData[i];
        //penghitungan jarak data dengan titik p
        dist[i]:= Distance(p,rP[i]);
    end;
    //pencarian titik terdekat dari sisa data
    for i:=ref_point to nData-1 do
    begin
        point:=refData[i];
        //penghitungan jarak data dengan titik p
        rDist := Distance(p,point);
        for j:=0 to ref_point-1 do
        begin
            if rDist<dist[j] then
            begin
                dist[j]:=rDist;
                rP[j]:=point;
                goto finish;
            end;
        end;
    end;
    finish:
end;
end;
```

Gambar 4.14 Prosedur Nearest (p)

Bagian pertama digunakan untuk inisialisasi titik-titik referensi yang terdekat dengan `p` (`rP[i]`) dan jarak setiap titik referensi (`dist[i]`). Bagian selanjutnya adalah pencarian titik-titik yang lebih dekat dengan titik `p` dibandingkan dengan data inisialisasi dari sisa data

kedalaman air waduk. Perbandingan yang digunakan adalah jarak data dengan titik p. Jika jarak yang dihasilkan lebih dekat dari salah satu data yang tersimpan dalam `dist[]` maka titik tersebut disimpan sebagai salah satu titik referensi dan dilanjutkan dengan data kedalaman air selanjutnya. Proses ini dilakukan terhadap seluruh data hingga semua titik terdekat ditemukan.

Jarak setiap lokasi data kedalaman air waduk dengan titik p dihitung menggunakan fungsi `distance(p,refData[i])` yang dapat dilihat dalam Gambar 4.15.

```
function distance(p1:TPoint2D; p2:TPoint3D):Real;  
var l,distx,disty:real;  
begin  
    distx:=p2.x-p1.x;  
    disty:=p2.y-p1.y;  
    l:=RoundTo(sqrt(Power(distx,2)+  
        Power(disty,2)),-3);  
    Result:=l;  
end;
```

Gambar 4.15 Fungsi `distance (p1,p2)`

Parameter yang digunakan adalah lokasi data yang dicari (`p1`) dan data kedalaman air hasil pengukuran lapangan (`refData[i]=p2`). Nilai yang dihasilkan yaitu jarak (`l`) antara `p1` dan `p2` yang akan digunakan untuk menentukan bobot dari titik `p2`.

Setiap jarak yang dihasilkan oleh fungsi `distance (p1,p2)` digunakan untuk menghitung bobot dari setiap referensi. Penghitungan bobot setiap titik referensi terdekat dilakukan oleh fungsi `weight(dist)`. Fungsi `weight(dist)` dapat dilihat pada Gambar 4.16.

```
function weight(l:Real):Real;  
var sumDist : real; i : integer;  
begin  
    sumDist:=0;  
    for i:=0 to ref_point-1 do  
        sumDist:=sumDist+(1/Power(dist[i],2));  
    Result:=RoundTo((1/Power(l,2))/sumDist,-3);  
end;
```

Gambar 4.16 Fungsi `weight(dist)`

Fungsi `weight(dist)` menggunakan parameter jarak dari titik referensi dengan lokasi yang akan diprediksi kedalamannya (`dist[i]`). Nilai kembalian dari fungsi `weight(dist)` adalah bobot dari data referensi terhadap lokasi yang diprediksi.

4.1.2.5 Pemetaan Hasil Prediksi Data

Proses ini digunakan untuk mempresentasikan data-data hasil prediksi metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IWD) dalam bentuk gambar peta kedalaman air waduk yang berbentuk dua dimensi. Proses pemetaan hasil prediksi data memanfaatkan metode grafik OpenGL untuk penggambaran area perairan waduk. Data dipresentasikan dalam bentuk *triangle strip* untuk seluruh data untuk merepresentasikan bentuk poligon dalam data spasial. Tiap titik yang membentuk segitiga diberi warna sesuai dengan data kedalaman air dari titik tersebut. Implementasi program untuk pemetaan data kedalaman air waduk dengan bentuk *triangle strip* dapat dilihat pada Gambar 4.17.

Titik (0,0) dari koordinat pemetaan diletakkan di sudut kiri atas form pemetaan dengan memanggil fungsi `glTranslatef(-1.0, 1.0, 0.0)`. Proses pemetaan data dimulai dengan menentukan dua buah titik pertama dari data kedalaman air untuk membuat objek *triangle*. Titik ketiga dari segitiga pertama dibaca dari data ketiga data kedalaman air sehingga terbentuk objek *triangle* pertama. Segitiga selanjutnya dibentuk menggunakan titik kedua dan ketiga dari segitiga sebelumnya sedangkan titik ketiga dari segitiga kedua diambil dari data keempat data kedalaman air waduk. Penggambaran objek *triangle* dari data kedalaman air dilakukan untuk seluruh data kedalaman air waduk.

Setiap data lokasi kedalaman air yang dipetakan harus dikonversi ke dalam bentuk koordinat yang sesuai dengan form pemetaan. Proses konversi yang dijalankan dalam proses pemetaan data dapat dilihat pada Gambar 4.18. Nilai maksimum dari koordinat form pemetaan adalah 2. Setiap nilai x dari lokasi kedalaman air dibagi dengan setengah nilai dari jarak nilai x minimum dan x maksimum ($\text{dist}_{MX}/2$) dan nilai y dari lokasi kedalaman air dibagi dengan setengah nilai dari jarak nilai y minimum dan y maksimum ($\text{dist}_{MY}/2$). Data kedalaman air dari lokasi tersebut disimpan dalam variabel z setelah dikurangi dengan data tingkat ketinggian air waduk. Jika nilai z positif maka lokasi titik berada diluar area

perairan waduk. Sedangkan nilai z negatif menunjukkan lokasi titik berada didalam area perairan waduk.

```
.....
glPushMatrix;
glTranslatef(-1.0,1.0,0.0);

data := FSaver; //data hasil prediksi

glBegin(GL_TRIANGLE_STRIP);
.....
.....
//konversi data lokasi kedalaman air menjadi
  data koordinat untuk form pemetaan
.....
//penentuan warna titik untuk presentasi
kedalaman air

//penggambaran titik pertama triangle
glVertex2f(p1.x,p1.y);

data:=data^.next; //lokasi selanjutnya
.....
//penggambaran titik kedua triangle
glVertex2f(p2.x,p2.y);

data:=data^.next; //lokasi selanjutnya
while data<>nil do
begin
  .....
  //penggambaran data kedalaman air
  glVertex2f(p.x,p.y);

  data:=data^.next; //lokasi data selanjutnya
end;
glEnd;
glFlush;
glPopMatrix;
```

Gambar 4.17 Pemetaan data kedalaman air


```

.....
p.x:=0.0+RoundTo(Abs(data^.pSpatial.x-
    maxData.x)/(distMX/2),-3);
p.y:=0.0-RoundTo((data^.pSpatial.y-
    minData.y)/(distMY/2),-3);
z:=data^.pSpatial.z-wLevel;
.....

```

Gambar 4.18 Konversi data lokasi menjadi data koordinat form pemetaan

Warna yang dipresentasikan setiap titik dalam pemetaan data ditentukan berdasarkan nilai z yang dihasilkan dalam tahap konversi data lokasi. Kode warna untuk lokasi diluar area perairan yaitu hijau untuk area yang dekat dengan air menuju kuning untuk area yang lebih tinggi. Sedangkan kode warna untuk lokasi didalam area perairan yaitu dari biru keputih-putihan untuk area dangkal menuju biru tua untuk area yang dalam. Penentuan warna tiap lokasi data dapat dilihat pada Gambar 4.19.

```

.....
if z>0 then //lokasi diluar area perairan
begin
    color:=z/50;
    if color>1 then
        glColor3f(1.0,1.0-(color-1.0),0.0)
    else
        glColor3f(0.0+color,1.0,0.0);
end
else //lokasi didalam area perairan
begin
    color:=z/(-1*25);
    if color>1 then
        glColor3f(0.0,0.0,1.0)
    else
        glColor3f(0.0,1.0-color,1.0);
end;
.....

```

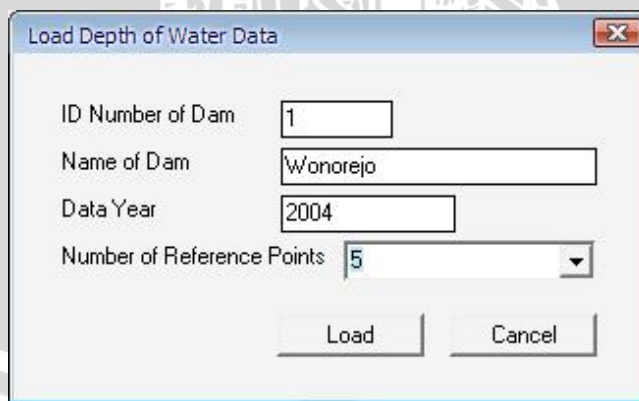
Gambar 4.19 Penentuan kode warna untuk setiap lokasi data kedalaman air

Fungsi `glColor3f(0,0,0)` digunakan untuk memberi warna dari titik yang digambar dalam form pemetaan. Urutan warna dalam fungsi tersebut yaitu merah, hijau dan biru dengan nilai maksimum dari setiap kode warna adalah 1.

4.1.3 Implementasi Antarmuka

Antarmuka yang digunakan dalam prediksi data dan pemetaan data hasil prediksi yaitu form `LoadData` dan form `Map`. Dua form ini merupakan bagian utama dalam implementasi prediksi data spasial menggunakan metode interpolasi *inverse distance weighting* (IDW) yang telah dirancang pada Sub Bab 3.5. Form lain yang ada dalam implementasi antarmuka digunakan untuk pembuatan data identitas untuk waduk, penetapan tahun pengukuran, pengolahan dan penyimpanan data kedalaman air hasil pengukuran lapang.

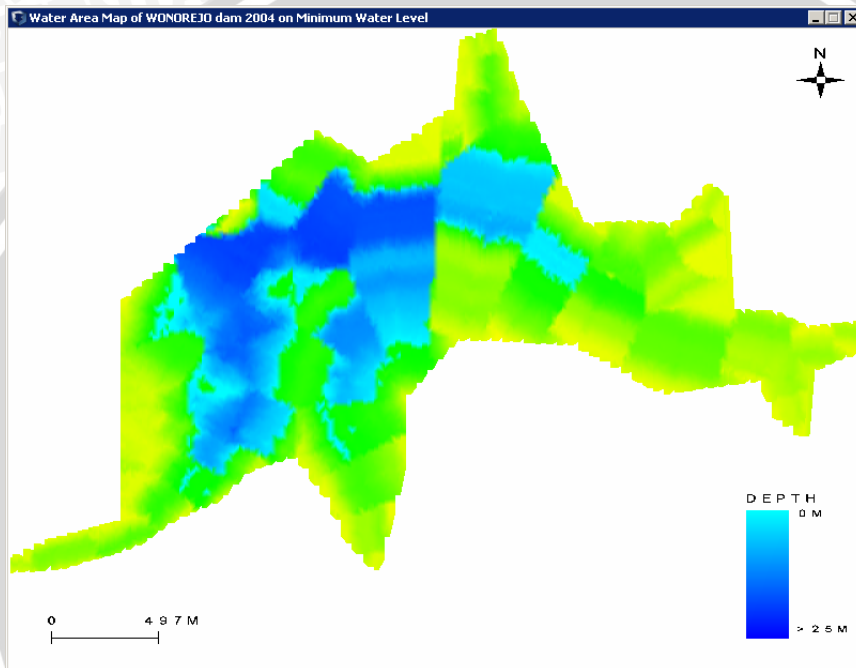
Form `LoadData` digunakan untuk menjalankan prosedur pembacaan data tepi waduk, fungsi penentuan batas area prediksi data, prosedur pembacaan data referensi yaitu data kedalaman air hasil pengukuran lapang dan prosedur prediksi data kedalaman air untuk lokasi yang belum memiliki data kedalaman air. Data yang ditampilkan dalam form ini yaitu data identitas waduk, tahun data pengukuran dan jumlah data referensi untuk prediksi data. Tombol *load* yang berfungsi untuk menjalankan prosedur dan fungsi untuk pembacaan data dan prediksi data. Tampilan dari form `LoadData` dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Field	Value
ID Number of Dam	1
Name of Dam	Wonorejo
Data Year	2004
Number of Reference Points	5

Gambar 4.20 Form pembacaan data dan prediksi data

Form Map digunakan untuk mempresentasikan data kedalaman air waduk dalam bentuk peta area perairan waduk. Form ini menjalankan proses pemetaan hasil prediksi data yang telah dijelaskan pada Sub Bab 4.1.2.5. Berdasarkan rancangan antarmuka pada Sub Bab 3.5 bagian pemetaan hasil prediksi data (form Map) dapat dilihat pada Gambar 4.21.



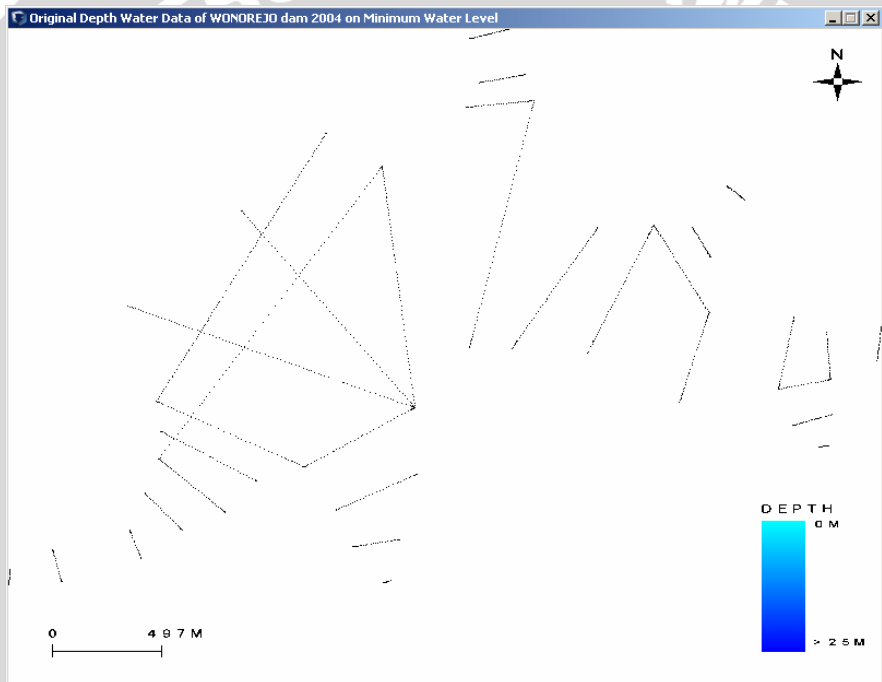
Gambar 4.21 Form pemetaan data kedalaman air waduk

Hasil pemetaan data ditampilkan menggunakan warna untuk mempresentasikan data kedalaman air dan ketinggian tanah di sekitar perairan waduk. Legenda yang terdapat dalam form pemetaan hanya menunjukkan tingkat kedalaman air waduk. Ketinggian tanah yang berada disekitar waduk tidak dimasukkan dalam legenda. Keterangan warna untuk pemetaan data sebagai berikut:

1. Warna biru muda menunjukkan area perairan dangkal sedangkan warna biru tua menunjukkan area perairan dalam.
2. Hijau menunjukkan ketinggian tanah mendekati nol (ketinggian terendah) dan warna kuning menunjukkan ketinggian tanah yang tinggi terhadap permukaan air waduk.

4.2 Uji Coba Perangkat Lunak

Perangkat lunak hasil implementasi program dan implementasi antarmuka digunakan untuk pengujian seperti yang telah dijelaskan pada Sub Bab 3.6. Pengujian perangkat lunak meliputi tingkat kesalahan yang dihasilkan dari setiap proses prediksi data dan hasil pemetaan data kedalaman air untuk jumlah data referensi prediksi data yang berbeda. Jumlah data referensi prediksi data yang digunakan untuk pengujian sistem yaitu 5, 10, 15, 20, 25 dan 30. Pemetaan data hasil pengukuran lapangan waduk Wonorejo tahun 2004 dapat dilihat pada Gambar 4.22.



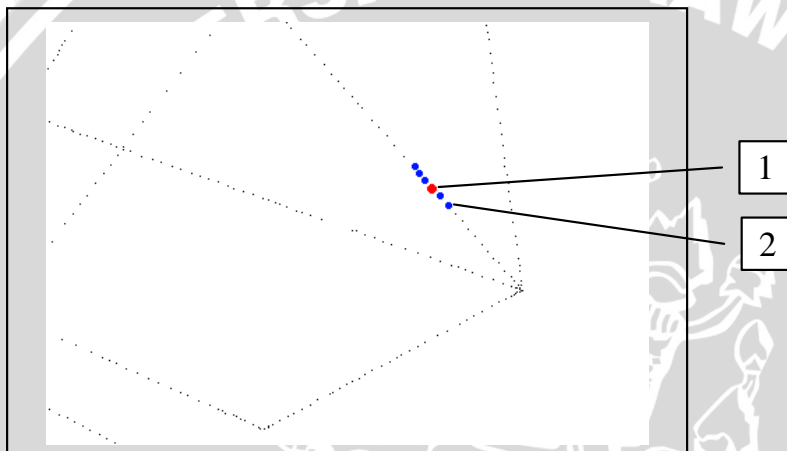
Gambar 4.22 Pemetaan data kedalaman air hasil pengukuran lapangan

4.2.1 Penentuan Titik Terdekat

Prediksi data spasial yang berupa data kedalaman air waduk menggunakan sejumlah data referensi terdekat di sekitar lokasi yang dicari. Penentuan ini menggunakan prosedur `nearest()` seperti pada Gambar 4.14. Pencarian titik terdekat dilakukan dengan membaca secara keseluruhan data kedalaman air hasil pengukuran lapangan. Setiap data hasil pengukuran lapangan dihitung jaraknya

dengan lokasi data yang akan diprediksi. Hasil perhitungan jarak dibandingkan untuk mendapatkan data dengan jumlah tertentu yang terdekat dengan lokasi yang dicari. Data dengan jarak terdekat kemudian digunakan untuk referensi prediksi data.

Pemilihan data referensi terdekat di sekitar lokasi yang dicari diambil dari Gambar 4.22 menggunakan prosedur `nearest()` dapat dilihat pada Gambar 4.23. Lokasi kedalaman air yang diprediksi ditunjukkan dengan titik berwarna merah (1) dan 5 titik referensi terdekat hasil pencarian prosedur `nearest()` ditunjukkan dengan titik berwarna biru (2).



Gambar 4.23 Lokasi prediksi dan data referensi terdekat untuk prediksi data

Penentuan data referensi terdekat dalam prosedur yang disusun seperti pada Gambar 4.23 tidak memperhatikan arah lokasi dari data referensi terhadap lokasi yang dicari. Data yang ditemukan hanya pada garis lurus tanpa memperhatikan data di lokasi lain. Faktor yang digunakan untuk penentuan data referensi seperti pada Gambar 4.23 hanya jarak terdekat dengan lokasi yang dicari. Hal ini mengakibatkan tidak semua data referensi yang harusnya digunakan untuk prediksi data berperan dalam penghitungan nilai yang dicari. Data spasial untuk lokasi tertentu dalam ruang bumi dipengaruhi oleh data yang ada di sekitarnya dengan radius putaran 360° sehingga faktor arah diperlukan dalam menentukan data referensi terdekat untuk prediksi kedalaman air waduk.

4.2.2 Penghitungan Tingkat Kesalahan

Tingkat kesalahan yang dihasilkan oleh prediksi data spasial menggunakan metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) diukur dengan mengkorelasikan data hasil pengukuran lapangan dengan hasil prediksi data tersebut. Korelasi data hasil pengukuran lapangan dengan hasil prediksi untuk data tersebut dapat dilihat menggunakan persamaan *mean error (ME)*, *mean absolute error (MAE)* dan *goodness of prediction statistic (G)* seperti yang telah dijelaskan dalam Sub Bab 2.3.3.

Tahap awal proses evaluasi yaitu pengambilan sampel data dari data kedalaman air waduk hasil pengukuran lapangan sesuai dengan rancangan pengujian perangkat lunak yang telah dijelaskan pada Sub Bab 3.6. Jumlah sampel yang diambil yaitu 10% dari total populasi sehingga jumlah sampel untuk data kedalaman air waduk Wonorejo tahun 2004:

$$\text{Sampel} = \frac{10}{100} \times 1344 = 134,4$$

Jumlah sampel yang diambil dari data kedalaman air waduk Wonorejo untuk evaluasi yaitu 135 data.

Pengambilan data sampel dari data kedalaman air waduk Wonorejo dilakukan secara random. Penentuan data yang digunakan untuk data sampel dapat dilihat pada Gambar 4.24.

```
.....  
Randomize;  
SetLength(ePoint,eData);  
for i:=0 to eData-1 do  
begin  
  finish:  
  tmp:=Random(nData);  
  for j:=0 to i do  
  begin  
    if tmp=ePoint[j] then  
      goto finish  
  end;  
  ePoint[i]:=tmp;  
end;  
.....
```

Gambar 4.24 Penentuan sampel data evaluasi

Hasil dari proses ini yaitu nomor indeks dari data lapang hasil pembacaan data kedalaman air dari basis data yang telah diurutkan sesuai dengan nilai x dan y . Indeks data kedalaman air yang terpilih disimpan dalam variabel `ePoint` untuk acuan pengambilan data kedalaman air waduk.

Data kedalaman air yang terpilih untuk sampel evaluasi kemudian diprediksi dengan menggunakan jumlah titik referensi yang berbeda. Hasil dari prediksi setiap data evaluasi kemudian dikorelasikan dengan data aslinya. Penghitungan korelasi antara data hasil prediksi dengan data hasil pengukuran lapang ditunjukkan pada Gambar 4.25. untuk *mean error*(ME), Gambar 4.26 untuk *mean absolute error* (MAE) dan Gambar 4.27 untuk *goodness of prediction statistic* (G).

```
function MeanError():Real;
var sum,zR,zP : double; i : Integer;
begin
  sum:=0;
  for i:=1 to sgHasil.RowCount-2 do
  begin
    zR:=StrToFloat(sgHasil.Cells[2,i]);
    zP:=StrToFloat(sgHasil.Cells[3,i]);
    sum:=sum+(zP-zR);
  end;
  result:=(1/eData)*sum; //nilai me
end;
```

Gambar 4.25 Fungsi MeanError()

Variabel yang digunakan yaitu zR untuk nilai asli data yaitu data hasil pengukuran lapang, zP untuk nilai hasil prediksi data untuk lokasi zR . Nilai yang dihasilkan adalah nilai *mean error* dengan hitungan $(1/eData)*sum$. sum merupakan hasil penjumlahan dari $(zP-zR)$ dan $eData$ adalah jumlah data evaluasi yang digunakan.

Implementasi untuk fungsi *mean absolute error* hampir sama dengan implementasi untuk fungsi *mean error*. Perbedaannya adalah nilai yang digunakan untuk menghitung MAE adalah hasil penjumlahan nilai absolut dari selisih nilai asli dengan nilai prediksi $(zP-zR)$.

```

function MeanAbsoluteError():Real;
var sum,zR,zP : double; i : Integer;
begin
  sum:=0;
  for i:=1 to sgHasil.RowCount-2 do
  begin
    zR:=StrToFloat(sgHasil.Cells[2,i]);
    zP:=StrToFloat(sgHasil.Cells[3,i]);
    sum:=sum+Abs(zP-zR); //nilai absolute zP-zR
  end;
  result:=(1/eData)*sum; //nilai mae
end;

```

Gambar 4.26 Fungsi MeanAbsoulteError()

z_M adalah nilai rata-rata data sampel, sum_1 adalah hasil penjumlahan dari kuadrat nilai prediksi dikurangi nilai asli ($[z_P - z_R]^2$) dan sum_2 adalah hasil penjumlahan dari kuadrat nilai rata-rata sampel dikurangi nilai asli ($[z_M - z_P]^2$). Nilai kembalian untuk fungsi $gVal()$ dihitung dengan $(1 - (sum_1 / sum_2))$.

Implementasi antarmuka dari proses evaluasi prediksi data spasial menggunakan metode interpolasi *inverse distance weighting* (IDW) dapat dilihat pada Lampiran 4. Perangkat lunak evaluasi menggunakan data identitas waduk, tahun data dan jumlah titik referensi untuk melakukan evaluasi data. Hasil dari proses yang ditampilkan dalam form evaluasi yaitu data sampel evaluasi beserta hasil prediksinya dan tingkat kesalahan yang dihasilkan.

4.2.3 Hasil Penghitungan Tingkat Kesalahan

Evaluasi dilakukan dengan 5 macam data sampel yang berbeda dengan jumlah data yang sama. Evaluasi prediksi data untuk setiap sampel dilakukan dengan menggunakan jumlah titik referensi berbeda yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil evaluasi 5 macam data sampel kemudian dihitung rata-ratanya untuk mendapatkan nilai akhir *mean error*, *mean absolute error* dan *goodness of prediction statistic*. Hasil evaluasi setiap data sampel dapat dilihat pada Tabel Evaluasi Prediksi Data (Tabel 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 dan 4.6). Contoh data sampel yang digunakan untuk evaluasi dapat dilihat pada Lampiran 5 untuk sampel ke-1.


```

function TfEval.gVal():Real;
var
  sum,sum1,sum2,zM,zR,zP : Double; i : Integer;
begin
  sum:=0;
  for i:=1 to sgHasil.RowCount-2 do
  begin
    zR:=StrToFLoat(sgHasil.Cells[2,i]);
    sum:=sum+zR;
  end;
  //mean data evaluasi
  zM:=sum/eData;
  //perhitungan untuk G
  sum1:=0;
  for i:=1 to sgHasil.RowCount-2 do
  begin
    zR:=StrToFLoat(sgHasil.Cells[2,i]);
    zP:=StrToFLoat(sgHasil.Cells[3,i]);
    sum1:=sum1+Power((zP-zR),2);
  end;
  sum2:=0;
  for i:=1 to sgHasil.RowCount-2 do
  begin
    zR:=StrToFLoat(sgHasil.Cells[2,i]);
    sum2:=sum2+Power((zM-zR),2);
  end;

  result:=(1-(sum1/sum2));
end;

```

Gambar 4.27 Fungsi gVal()

Tabel 4.2 Evaluasi prediksi data sampel ke-1

No	Jumlah Titik Referensi	ME	MAE	G
1	5	0.038	1.903	0.96407
2	10	0.194	2.093	0.96176
3	15	0.298	2.168	0.96098
4	20	0.293	2.217	0.9608
5	25	0.329	2.213	0.96086
6	30	0.324	2.236	0.9606

Tabel 4.3 Evaluasi prediksi data sampel ke-2

No	Jumlah Titik Referensi	ME	MAE	G
1	5	0.611	2.03	0.962
2	10	0.723	2.235	0.959
3	15	0.746	2.277	0.959
4	20	0.739	2.318	0.959
5	25	0.706	2.315	0.959
6	30	0.693	2.32	0.959

Tabel 4.4 Evaluasi prediksi data sampel ke-3

No	Jumlah Titik Referensi	ME	MAE	G
1	5	0.522	2.245	0.957
2	10	0.626	2.409	0.957
3	15	0.69	2.519	0.956
4	20	0.7	2.573	0.954
5	25	0.696	2.545	0.955
6	30	0.686	2.535	0.955

Tabel 4.5 Evaluasi prediksi data sampel ke-4

No	Jumlah Titik Referensi	ME	MAE	G
1	5	0.166	2.073	0.98
2	10	0.355	2.251	0.977
3	15	0.452	2.379	0.975
4	20	0.454	2.428	0.974
5	25	0.443	2.457	0.974
6	30	0.454	2.469	0.974

Tabel 4.6 Evaluasi prediksi data sampel ke-5

No	Jumlah Titik Referensi	ME	MAE	G
1	5	0.553	1.907	0.985
2	10	0.745	2.175	0.981
3	15	0.881	2.276	0.979
4	20	0.903	2.342	0.978
5	25	0.881	2.359	0.978
6	30	0.865	2.378	0.978

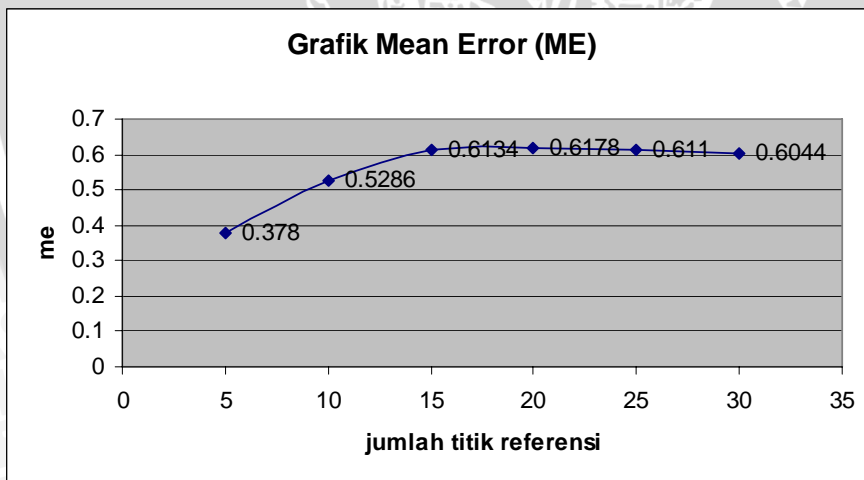
Nilai hasil evaluasi dari 5 macam data sampel kemudian dirata-rata untuk mendapatkan nilai akhir evaluasi prediksi data. Hasil

evaluasi setiap data sampel dijumlahkan sesuai jumlah data referensi yang digunakan dan hasilnya dibagi 5. Rata-rata hasil evaluasi prediksi data dari 5 macam data sampel dapat dilihat pada Tabel 4.7.

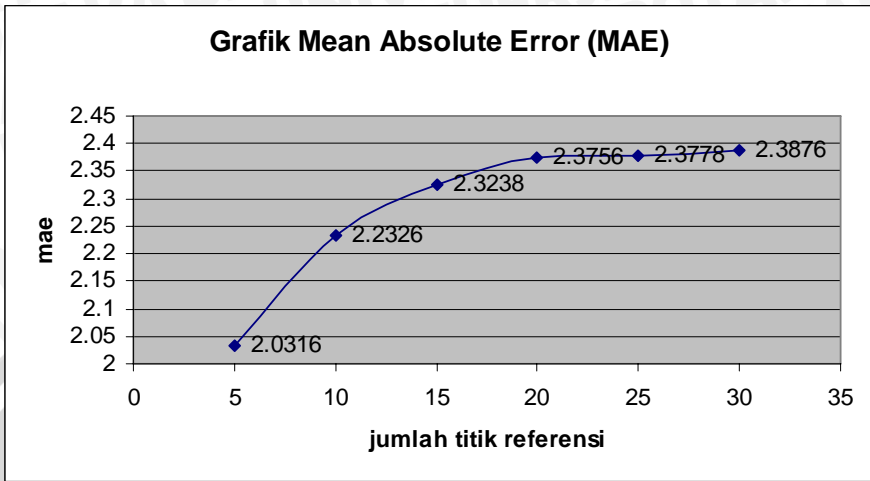
Tabel 4.7 Rata-rata hasil evaluasi prediksi data 5 untuk macam sampel

No	Jumlah Titik Referensi	ME	MAE	G
1	5	0.378	2.0316	0.969614
2	10	0.5286	2.2326	0.967152
3	15	0.6134	2.3238	0.965996
4	20	0.6178	2.3756	0.96516
5	25	0.611	2.3778	0.965372
6	30	0.6044	2.3876	0.96532

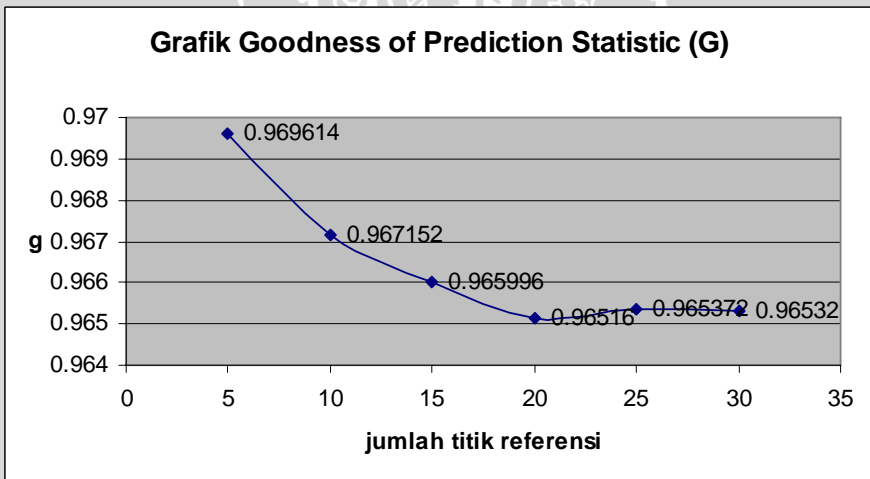
Rata-rata hasil evaluasi prediksi data dari 5 macam data sampel dapat diilustrasikan dalam bentuk grafik yang ditunjukkan pada gambar 4.28 untuk grafik *mean error (ME)*, gambar 4.29 untuk grafik *mean absolute error (MAE)* dan gambar 4.30 untuk grafik *goodness of prediction statistic (G)*.



Gambar 4.28 Grafik rata-rata *Mean Error (ME)* untuk evaluasi prediksi data dengan 5 macam data sampel



Gambar 4.29 Grafik rata-rata *Mean Absolute Error (MAE)* untuk evaluasi prediksi data dengan 5 macam data sampel



Gambar 4.30 Grafik rata-rata *Goodness of Prediction Statistic (G)* untuk evaluasi prediksi data dengan 5 macam data sampel

Nilai kesalahan rata-rata pada Gambar 4.28 menunjukkan semakin banyak titik referensi yang digunakan untuk proses prediksi data maka nilai yang dihasilkan semakin jauh dari nilai sebenarnya. Besarnya nilai kesalahan untuk penggunaan jumlah data referensi yang semakin banyak disebabkan oleh semakin banyaknya data yang

berpengaruh terhadap nilai yang dicari. Pengaruh untuk setiap data referensi akan semakin kecil dengan banyaknya data referensi yang digunakan sehingga data terdekat yang mendekati nilai sebenarnya memberikan pengaruh yang lebih kecil dibandingkan dengan pengaruh yang seharusnya. Perbedaan pengaruh untuk titik referensi yang sama dengan jumlah referensi yang berbeda menggunakan data spasial dari Tabel 3.9 dapat dilihat pada Tabel 4.8. Semakin banyak data yang digunakan maka data yang digunakan untuk menentukan nilai yang dicari semakin bervariasi dan menjauhi nilai sebenarnya.

Tabel 4.8 Perbedaan bobot data referensi untuk penggunaan jumlah referensi 5 ($w_i(5)$) dan 10 ($w_i(10)$) data

Lokasi Dicari	Referensi	z	Jarak (d)	$1/d^2$	$w_i(5)$	$w_i(10)$
(8,12)	(10,4)	3	8.25	0.0156	-	0.0291
(8,12)	(12,7)	4	6.4	0.0244	-	0.0455
(8,12)	(1,15)	3	7.62	0.0172	-	0.0321
(8,12)	(5,17)	2	5.83	0.0294	0.066426	0.0548
(8,12)	(9,14)	3	2.24	0.2	0.451875	0.373
(8,12)	(7,16)	4	4.12	0.0588	0.132851	0.1097
(8,12)	(1,9)	2.7	7.62	0.0172	-	0.0321
(8,12)	(3,15)	3.2	5.83	0.0294	0.066426	0.0548
(8,12)	(4,18)	4	7.21	0.0192	-	0.0358
(8,12)	(10,10)	4	2.83	0.125	0.282422	0.2331

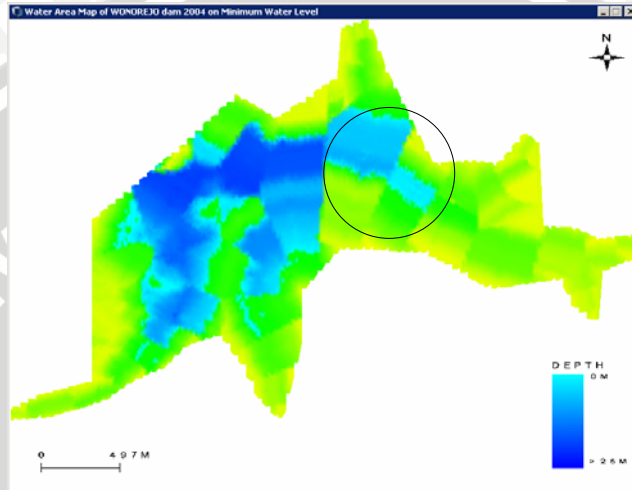
4.2.4 Pemetaan Data Kedalaman Air Waduk

Data kedalaman air waduk hasil pengukuran lapang untuk data tahun 2004 waduk Wonorejo dapat dilihat pada Gambar 4.22. Lokasi pengukuran dipetakan dalam bentuk titik-titik di form pemetaan data. Gambar 4.22 menunjukkan bahwa pengukuran data kedalaman air yang dilakukan hanya pada lokasi-lokasi tertentu saja dari seluruh area waduk.

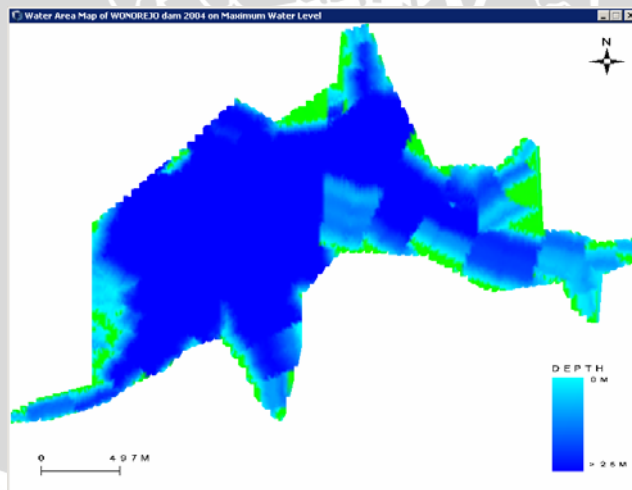
Data kedalaman air waduk hasil pengukuran lapang tersebut kemudian digunakan untuk prediksi data seluruh area perairan waduk. Hasil prediksi data dipetakan dalam form pemetaan data dalam bentuk objek *triangle strip*.

Pemetaan Hasil Prediksi Data dengan 5 Titik Referensi

Pemetaan data kedalaman air hasil prediksi dengan 5 titik referensi dapat dilihat pada Gambar 4.31 untuk level air rendah (*low water level*) dan Gambar 4.32 untuk level air tinggi (*high water level*)



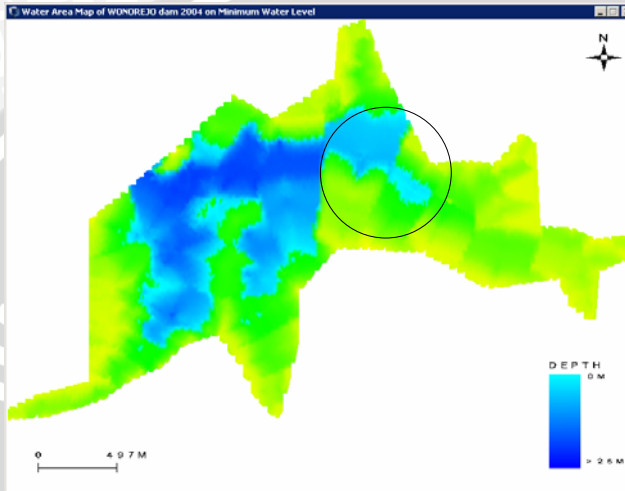
Gambar 4.31 Pemetaan hasil prediksi data dengan 5 titik referensi untuk level air rendah



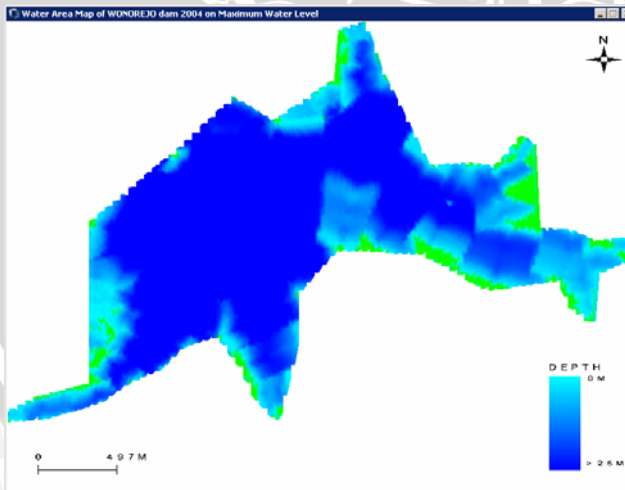
Gambar 4.32 Pemetaan hasil prediksi data dengan 5 titik referensi untuk level air tinggi

Pemetaan Hasil Prediksi Data dengan 10 Titik Referensi

Pemetaan data kedalaman air hasil prediksi dengan 10 titik referensi dapat dilihat pada Gambar 4.33 untuk level air rendah (*low water level*) dan Gambar 4.34 untuk level air tinggi (*high water level*).



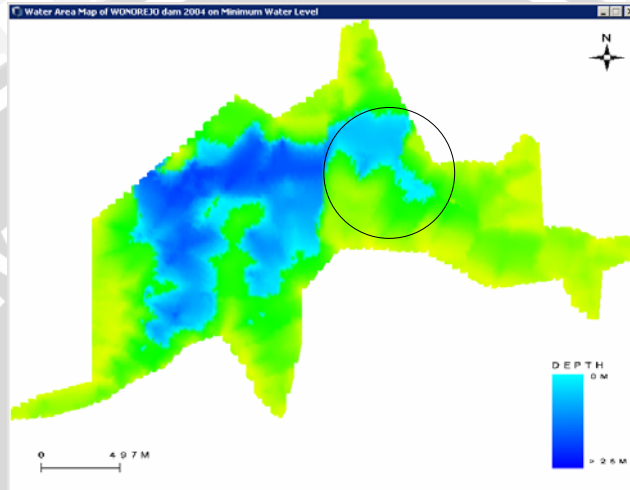
Gambar 4.33 Pemetaan hasil prediksi data dengan 10 titik referensi untuk level air rendah



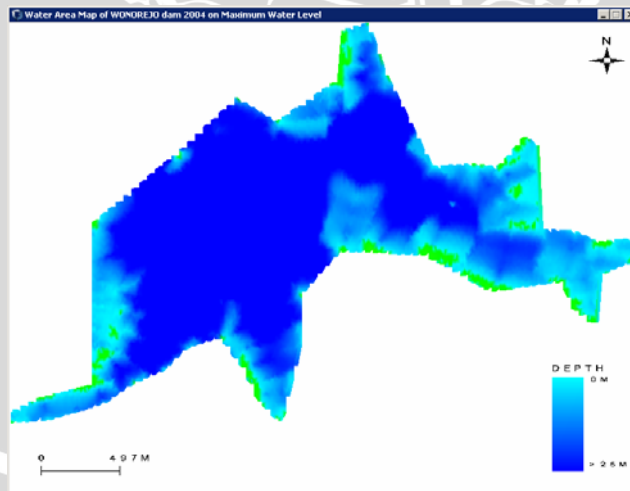
Gambar 4.34 Pemetaan hasil prediksi data dengan 10 titik referensi untuk level air tinggi

Pemetaan Hasil Prediksi Data dengan 15 Titik Referensi

Pemetaan data kedalaman air hasil prediksi dengan 15 titik referensi dapat dilihat pada Gambar 4.35 untuk level air rendah (*low water level*) dan Gambar 4.36 untuk level air tinggi (*high water level*)



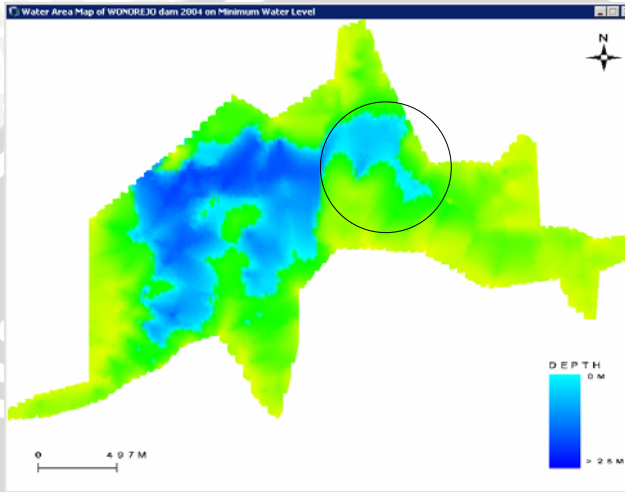
Gambar 4.35 Pemetaan hasil prediksi data dengan 15 titik referensi untuk level air rendah



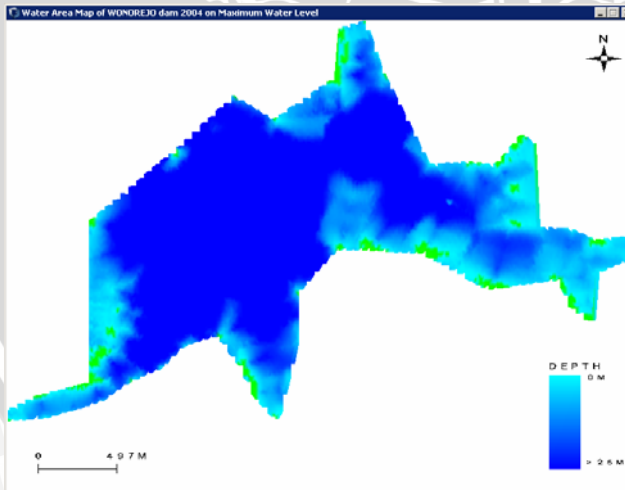
Gambar 4.36 Pemetaan hasil prediksi data dengan 15 titik referensi untuk level air tinggi

Pemetaan Hasil Prediksi Data dengan 20 Titik Referensi

Pemetaan data kedalaman air hasil prediksi dengan 20 titik referensi dapat dilihat pada Gambar 4.37 untuk level air rendah (*low water level*) dan Gambar 4.38 untuk level air tinggi (*high water level*)



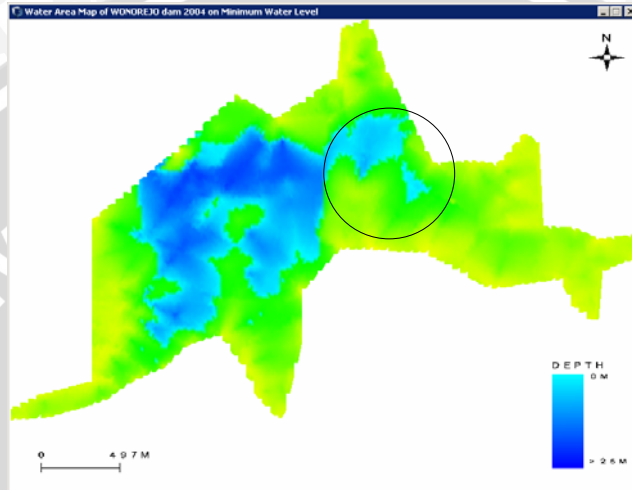
Gambar 4.37 Pemetaan hasil prediksi data dengan 20 titik referensi untuk level air rendah



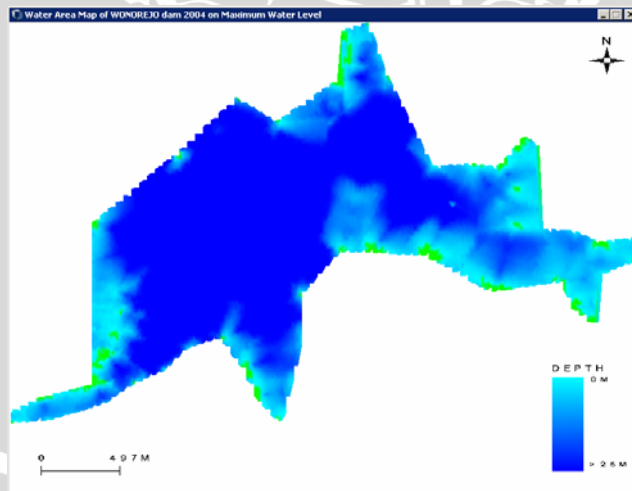
Gambar 4.38 Pemetaan hasil prediksi data dengan 20 titik referensi untuk level air tinggi

Pemetaan Hasil Prediksi Data dengan 25 Titik Referensi

Pemetaan data kedalaman air hasil prediksi dengan 25 titik referensi dapat dilihat pada Gambar 4.39 untuk level air rendah (*low water level*) dan Gambar 4.40 untuk level air tinggi (*high water level*)



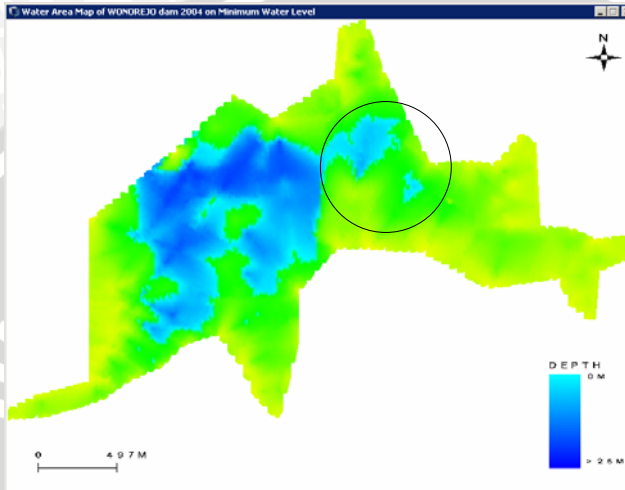
Gambar 4.39 Pemetaan hasil prediksi data dengan 25 titik referensi untuk level air rendah



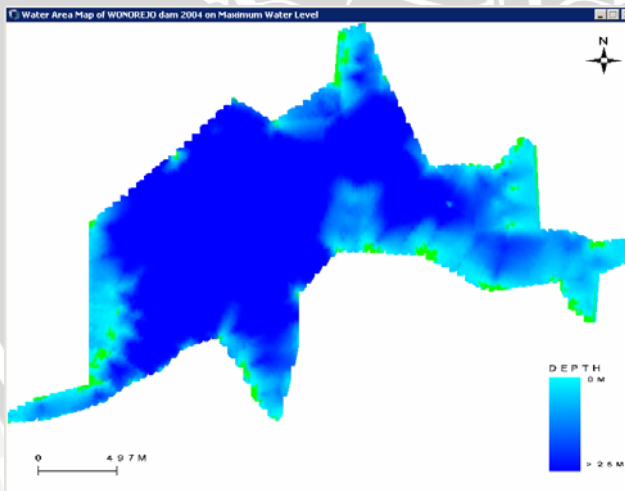
Gambar 4.40 Pemetaan hasil prediksi data dengan 25 titik referensi untuk level air tinggi

Pemetaan Hasil Prediksi Data dengan 30 Titik Referensi

Pemetaan data kedalaman air hasil prediksi dengan 30 titik referensi dapat dilihat pada Gambar 4.41 untuk level air rendah (*low water level*) dan Gambar 4.42 untuk level air tinggi (*high water level*)



Gambar 4.41 Pemetaan hasil prediksi data dengan 30 titik referensi untuk level air rendah



Gambar 4.42 Pemetaan hasil prediksi data dengan 30 titik referensi untuk level air tinggi

4.3 Analisis Hasil

Tingkat kehandalan dari banyaknya data referensi yang digunakan untuk prediksi data ditunjukkan pada Gambar 4.30 untuk grafik *goodness of prediction statistic (G)*. Nilai G yang dihasilkan dalam evaluasi bernilai positif dan besarnya lebih dari 0,9. Nilai ini menunjukkan pemilihan jumlah titik referensi data dapat dipercaya atau diandalkan untuk memprediksikan kedalaman air dan mendekati nilai G maksimum yaitu 1 untuk untuk prediksi dengan ketepatan 100%. Nilai G terbesar yaitu penggunaan 5 data referensi untuk acuan prediksi data kedalaman air yaitu 0,969614. Nilai G semakin menurun untuk penggunaan data referensi yang semakin banyak. Penurunan nilai G ini disebabkan nilai hasil prediksi data dengan menggunakan data referensi yang lebih banyak semakin jauh dari nilai nyata data tersebut. Jika nilai hasil prediksi semakin berbeda jauh dengan nilai nyata maka hasil perbandingan data hasil prediksi dengan dengan nilai rata-rata data sampel semakin besar sehingga nilai G akan semakin kecil

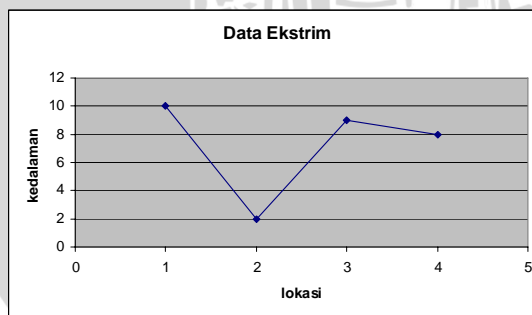
Pemetaan data kedalaman air waduk yang ditampilkan pada Sub Bab 4.2.4 untuk setiap jumlah data referensi menunjukkan hasil yang berbeda. Perbedaan ini ditunjukkan oleh bentuk area perairan hasil pemetaan data dan kedalaman air dari area perairan untuk bagian yang sama menunjukkan hasil yang berbeda. Hasil pemetaan untuk prediksi data kedalaman air menggunakan 5 titik referensi untuk level air rendah menghasilkan area perairan yang lebih luas dibandingkan dengan hasil pemetaan untuk prediksi data kedalaman air waduk menggunakan 10 titik referensi. Penurunan luas area perairan waduk untuk penggunaan referensi yang semakin banyak disebabkan penurunan kedalaman air hasil prediksi data untuk beberapa bagian area perairan. Penurunan luas area perairan ini seperti ditunjukkan pada area di dalam lingkaran Gambar 4.31, 4.33, 4.35, 4.37, 4.39 dan 4.41.

Perbedaan yang ditunjukkan gambar pemetaan hasil prediksi data disebabkan oleh perberdaan hasil prediksi data kedalaman air untuk setiap penggunaan jumlah titik referensi yang tidak sama. Contoh hasil prediksi kedalaman air berdasarkan data perbandingan pada Lampiran 5 untuk lokasi (585344.8, 9113842) dengan 5 titik referensi yaitu 173.366 m, 10 titik referensi yaitu 173.941 m, 15 titik referensi yaitu 174.22 m, 20 titik referensi yaitu 174.491 m, 25 titik referensi yaitu 174.415 m dan 30 titik referensi yaitu 174.748 m.

Nilai kedalaman nyata dari lokasi tersebut yaitu 173.59 m. Perbedaan hasil prediksi yang ditunjukkan pada contoh untuk setiap jumlah data referensi menyebabkan perbedaan hasil pada pemetaan data kedalaman air.

Perbedaan hasil prediksi data untuk setiap jumlah data referensi yang digunakan dalam prediksi data kedalaman air menghasilkan tingkat kesalahan perhitungan yang berbeda. Grafik *mean error (ME)* pada Gambar 4.28 menunjukkan nilai ME yang terkecil adalah prediksi data kedalaman air waduk menggunakan 5 titik referensi yaitu 0,378. Grafik *mean absolute error (MAE)* pada Gambar 4.29 menunjukkan nilai MAE semakin membesar untuk prediksi data kedalaman air menggunakan data referensi yang semakin banyak. Besarnya tingkat kesalahan yang dihasilkan oleh penggunaan titik referensi yang lebih banyak disebabkan semakin banyaknya nilai yang berpengaruh terhadap nilai yang dicari. Pengaruh yang diberikan setiap data referensi bervariasi sesuai jarak dari data yang dicari seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.8, semakin jauh maka pengaruhnya semakin kecil.

Data kedalaman air waduk hasil pengukuran lapang lebih bersifat linear. Hal ini ditunjukkan dalam contoh pemetaan penampang melintang waduk Wonorejo pada Gambar 2.9. Metode interpolasi *Inverse Distance Weighting* berdasarkan uji coba dapat digunakan untuk prediksi data dengan data yang bersifat linear seperti data kedalaman air waduk Wonorejo. Namun metode ini tidak dapat digunakan untuk data yang dengan perbedaan yang ekstrim seperti Gambar 4.43.



Gambar 4.43 Data kedalaman dengan perbedaan ekstrim

Jika data pada lokasi 2 diprediksi dengan interpolasi IDW maka nilainya akan mendekati nilai 9 atau 10.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Metode Interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) berdasarkan tingkat ketepatan prediksi data dapat digunakan untuk memprediksikan data spasial yang berupa data kedalaman air waduk. Hasil prediksi data yang berupa data lokasi dan kedalaman air dapat ditampilkan dalam bentuk peta dua dimensi menggunakan metode grafik OpenGL dengan primitif *triangle strip*. Jumlah data referensi yang dapat digunakan dalam metode ini yaitu sebanyak 5 data referensi dengan tingkat kesalahan rata-rata (ME) sebesar 0,378 dan nilai ketepatan prediksi data (G) sebesar 0,969614 dengan data referensi yang bersifat linear.

Tingkat kesalahan (ME, MAE) yang dihasilkan semakin besar untuk penggunaan data referensi yang semakin banyak. Tingkat kepercayaan (G) terhadap jumlah data referensi semakin menurun untuk penggunaan data referensi yang semakin banyak. Perubahan ketepatan prediksi data menyebabkan pemetaan data kedalaman air menunjukkan hasil yang berbeda yaitu luas area perairan semakin menurun pada lokasi-lokasi tertentu untuk penggunaan jumlah data referensi yang semakin banyak.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut yaitu optimasi pencarian titik terdekat (*nearest point*) untuk referensi prediksi karena dalam penelitian ini masih menggunakan pemindaian terhadap seluruh data dengan faktor pembanding jarak tanpa memperhatikan arah lokasi data referensi dan penggunaan metode lain yang dapat meningkatkan ketepatan dari prediksi data spasial yang berupa kedalaman air waduk.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2005. *GIS : Mapping Solution*. Scomptec. (<http://www.scomptec.co.id/scmapgis.htm>, 27 Juni 2007).
- Anonymous. 2006. *Pengelolaan Danau dan Waduk di Indonesia*. Pusat Litbang SDA. (<http://www.pusair-pu.go.id/artikel/kesatu.pdf>, 29 Juli 2008)
- Anonymous. 2007. *What's New in Data Analysis : Spatial Prediction*. SAS Institute Inc. (<http://support.sas.com/rnd/app/daspatt.html>, 27 Juni 2007).
- Armes, Cori J. 2006. *Spatial Prediction of Soil Penetration Resistance using Geographic Information Systems*. Center of Excellence GIS Laboratory Lincoln University, Jefferson City, MO 65102. Missouri.
- Ayyub, Bilal M and McCuen, Richard H. 1996. *Numerical Methods for Engineers*. Prentice Hall. New Jersey.
- Aziz, Muh dan Slamet pujiono. 2006. *Sistem Informasi Geografis berbasis Desktop dan Web*. Gava Media. Yogyakarta.
- Banerjee, S and Gefland, A.E. 2002. *Prediction, Interpolation and Regression for Spatially Misaligned Data*. San Antonio Conference, Volume 64, Series A, Pt.2, pp 227-245. Texas.
- Gay, L.R. 1976. *Educational Research : Competencies for Analysis and Application*. Bell & Howell Company. Ohio.
- Kerry, K.E. and Hawick, K.A. 1997. *Spatial Interpolation on Distributed, High-Performance Computers*. Department of Computer Science, University of Adelaide, SA 5005. Adelaide.
- Kravchenko, Alexandra and Bullock, Donald G. 1999. A *Comparative Study of Interpolation Methods for Mapping Soil Properties*. *Agron. J.* 91:393–400. Urbana.

- Lee, Hock San. 1996. *OpenGL: Super Bible*. Microsoft Press. Woshington.
- Manolopoulos, Yannis, Papadopoulos, A.N. and Vassilakopoulos, Michael Gr. 2005. *Spatial Databases: Technologies, Techniques, and Trends*. Idea Group Publishing. Hershey.
- Neider, Jackie, Davis, Tom, and Woo, Mason. 1997. *OpenGL Programming Guide*, 2nd Edition. Addison-Wesley. Reading, Massachusetts.
- Reich, Robin M., Aguirre-Bravo, C., and William, M.S. 2006. *Spatial Statistical and Modeling Strategy for Inventorying and Monitoring Ecosystem Resources at Multiple Scales and Resolution Levels*. USDA Forest Service Proceedings RMRS-P-42CD. Colorado.
- Rice, John Rischard. 1983. *Numerical Methods, Software and Analysis*, International Edition. McGraw-Hill. Singapore.
- Santoso, Insap. 1994. *Grafika komputer dan Antarmuka Grafis*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Soegiarto. 2004. *Echo Sounding (Pengukuran Penampang Melintang Waduk) Wonorejo*. Perum Jasa Tirta I. Malang.
- Shunji Murai, Prof. 1999. *GIS Workbook Vol I*. University of Tokyo. Tokyo.
- Weir-Smith, G. and Schwabe, C.A. 2001. *Spatial interpolation vs neural network propagation as a method of extrapolating from field surveys*. GIS Centre, HSRC (Human Sciences Research Council). Pretoria.
- Yulia, Kartika dan Jeffrey. 2006. *Perencanaan Rute Perjalanan Di Jawa Timur Dengan Dukungan Gis Menggunakan Metode Dijkstra's*. (<http://puslit.petra.ac.id/~puslit/journals/articles.php>, : 5 Mei 2007).

Lampiran 1. Pengolahan Data Kedalaman Air Hasil Pengukuran Lapang

Prosedur penentuan lokasi titik (pFind) dari titik awal pFirst

```
procedure Location(dist:real);
begin
  if angle = 0 then
  begin
    pFind.x := pFirst.x+dist;
    pFind.y := pFirst.y;
  end
  else if angle = 90 then
  begin
    pFind.x := pFirst.x;
    pFind.y := pFirst.y+dist;
  end
  else if angle = 180 then
  begin
    pFind.x := pFirst.x-dist;
    pFind.y := pFirst.y;
  end
  else if angle = -90 then
  begin
    pFind.x := pFirst.x;
    pFind.y := pFirst.y-dist;
  end
  else
  begin
    pFind.x := pFirst.x+(1/(Math.Sec(rAgl))*dist);
    pFind.y := pFirst.y+
      (1/(Math.Cosecant(rAgl))*dist);
  end;
  pFind.x := RoundTo(pFind.x,-3);
  pFind.y := RoundTo(pFind.y,-3);
end;
```

Prosedur penentuan sudut 2 titik (pFirst, pLast) acuan

```
procedure AngleCalc();
var
  xdist, ydist : real;
begin
  xdist := pLast.x - pFirst.x;//jarak antara x
  ydist := pLast.y - pFirst.y;//jarak antara y
```

```
if xdist<>0 then
  angle := math.ArcTan2(ydist,xdist)*(180/PI)
else
  begin
    if pLast.y>0 then
      angle := 90;
    if pLast.y<0 then
      angle := -90;
    end;
    rAgl:= Math.DegToRad(angle);
  end;
```

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 2. Contoh Data Kedalaman Air Hasil Pengukuran Lapang
Waduk Wonorejo Tahun 2004

Cross 16 : WRS.49 – WRS.42

NO.POINT	JARAK	ELEVASI
WRS.49	0	184.674/185.004
1	1.59	184.267
2	4.14	182.558
3	5.35	181.79
4	10.53	178.19
5	19.06	173.79
6	30.28	167.23
7	39.65	163.25
8	49.4	160.77
9	59.64	157.31
10	70.89	152.79
11	82.03	150.81
12	95.78	149.74
13	109.06	148.69
14	122.57	148.19
15	136.72	150.12
16	149.28	153.69
17	162.43	157.01
18	174.4	160.87
19	183.8	164.64
20	197.75	167.83
21	209.35	172.99
22	218.56	176.19
23	226.41	180.973
24	228.63	181.71
25	232.6	183.71
26	235.55	184.515
WRS.42	240.62	186.508/186.708

WRS.49 = (588686954, 9114535848, 185.004)

WRS.42 = (588515530, 9114704901, 186.708)

Lampiran 3. Contoh Data Spasial Hasil Konversi Data Pengukuran
Lapang Waduk Wonorejo 2004

id_level	x	y	z
1	585337	9113778	186.79
1	585337.2	9113780	186.365
1	585337.5	9113783	186.641
1	585337.7	9113784	184.388
1	585338	9113786	183.017
1	585338.4	9113790	181.79
1	585338.9	9113794	181.151
1	585339.2	9113797	180.74
1	585339.7	9113801	180.19
1	585340.6	9113807	177.59
1	585341.7	9113817	175.49
1	585342.9	9113826	174.19
1	585343.9	9113835	173.39
1	585344.8	9113842	173.59
1	585345.9	9113851	173.29
1	585346.8	9113858	173.34
1	585347.5	9113864	173.39
1	585348.4	9113872	173.84
1	585349.1	9113878	176.59
1	585349.8	9113883	178.54
1	585350.3	9113887	179.49
1	585350.7	9113890	181.04
1	585351	9113893	181.338
1	585351.3	9113895	181.79
1	585351.7	9113899	182.301
1	585352.5	9113905	183.248
1	585353.2	9113911	183.37
1	585354.1	9113918	183.868
1	585354.9	9113925	185.308
1	585356.1	9113935	186.296
1	585356.2	9113936	186.897
1	585563	9114178	187.06
...

Lampiran 4. Antar Muka Aplikasi Evaluasi Prediksi Data Spasial Menggunakan Metode Interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW)

The screenshot shows a software window titled "Evaluasi". It contains the following elements:

- Input fields for "Nama Waduk" (1-Wonorejo), "Tahun" (2004), and "Jumlah Titik Referensi" (25).
- Buttons for "Baca Data" and "Evaluasi".
- A table with 4 columns: x, y, z(x,y), and z*(x,y). The first row is highlighted in blue.
- Output fields for "Mean Error (ME)", "Mean Absolute Error (MAE)", and "Goodness of Prediction Statistic (G)".
- A "Simpan" button at the bottom right.

x	y	z(x,y)	z*(x,y)
585349.139	9113877.705	176.59	177.443
585567.765	9114015.683	187.033	186.261
585569.332	9113997.751	179.84	179.501
585575.11	9113931.643	169.53	170.936
585575.262	9114020.712	183.821	181.602
585576.935	9114181.672	185.533	184.32
585577.721	9113901.757	174.29	173.382

Mean Error (ME) 0.563
Mean Absolute Error (MAE) 2.548
Goodness of Prediction Statistic (G) 96.914

Simpan

Lampiran 5. Data Evaluasi Prediksi Data Spasial Menggunakan Metode Interpolasi *Inverse Distance Weighting* (IDW) Sampel Ke-1

1. Hasil Prediksi Data dengan Jumlah Data Referensi 5

jumlah titik	x	y	$z(x_i, y_i)$	$z^*(x_i, y_i)$	$z^* - z$
5	585576.9	9114182	185.533	185.213	-0.32
5	585800.1	9114040	177.99	165.791	-12.199
5	586031.1	9113146	181.79	183.169	1.379
5	586478.8	9113522	155.4	153.965	-1.435
5	587590.2	9113175	135.49	133.184	-2.306
5	587862.1	9113689	152.7	148.628	-4.072
5	587871.1	9112914	181.79	178.137	-3.653
5	587960.6	9114417	185.98	185.88	-0.1
5	588096.8	9113423	117.72	118.417	0.697
5	585343.9	9113835	173.39	173.529	0.139
5	585349.1	9113878	176.59	179.344	2.754
5	585351	9113893	181.338	181.512	0.174
5	585571	9113979	175.29	174.874	-0.416
5	585573.7	9114020	184.55	183.109	-1.441
5	585586.1	9113806	188.917	188.917	0
5	585599.1	9114322	184.202	183.056	-1.146
5	586126.2	9113735	180.664	181.356	0.692
5	586128.6	9113439	179.39	179.935	0.545
5	586133.9	9113693	182.765	183.53	0.765
5	586138.4	9113422	173.79	172.11	-1.68
5	586212.1	9113994	160	162.241	2.241
5	586374.8	9113321	186.398	187.217	0.819
5	586738.1	9113485	137.49	139.101	1.611
5	586786.1	9113553	139.19	139.724	0.534
5	586816.1	9113595	142.69	143.695	1.005
5	586930.9	9112753	182.247	182.807	0.56
5	586953.2	9112892	154.75	154.787	0.037
5	586992.4	9112759	168.33	167.496	-0.834
5	587031	9113190	134.29	134.477	0.187
5	587078.4	9112655	154.45	156.611	2.161
5	587100.9	9112769	149.14	151.662	2.522
5	587114.2	9113509	172.54	170.596	-1.944
5	587171.6	9112776	168.08	172.599	4.519
5	587524.7	9113661	133.59	132.409	-1.181
5	587538.9	9113555	128.84	129.935	1.095
5	587576.8	9113274	121.01	120.206	-0.804
5	587790.4	9114601	176.19	181.887	5.697
5	587945.7	9113595	138.29	139.202	0.912
5	588033.6	9114384	158.01	156.919	-1.091
5	588125.2	9113391	118.42	118.766	0.346
5	588149.3	9113353	120.06	121.204	1.144
5	588180.5	9113800	123.31	122.008	-1.302

5	588198.3	9113308	150.09	156.312	6.222
5	588296.9	9113586	119.27	119.557	0.287
5	588393	9113816	133.99	132.425	-1.565
5	588611.8	9114389	180.64	182.964	2.324
5	589302.3	9114915	171.44	175.064	3.624
5	585337.5	9113783	186.641	184.895	-1.746
5	585356.2	9113936	186.897	186.296	-0.601
5	585568.5	9114007	183.99	183.115	-0.875
5	585680.9	9114211	180.09	180.063	-0.027
5	585740.1	9113766	177.66	175.896	-1.764
5	586026.7	9113149	180.29	180.983	0.693
5	586136.6	9113689	183.737	182.579	-1.158
5	586146.4	9113674	182.61	181.456	-1.154
5	586265.1	9113486	162.15	163.948	1.798
5	586368.6	9113322	185.015	185.308	0.293
5	586372.2	9113317	187.359	187.359	0
5	586390.2	9113351	182.331	181.268	-1.063
5	586646.1	9113846	181.79	183.389	1.599
5	586855.2	9113650	143.54	143.211	-0.329
5	587056.5	9113288	131.39	132.144	0.754
5	587059.4	9113300	131.54	133.316	1.776
5	587077.8	9112438	189.53	170.473	-19.057
5	587078.2	9113371	130.59	135.263	4.673
5	587128.2	9112772	157.91	158.651	0.741
5	587153.9	9112668	181.79	181.899	0.109
5	587159	9112669	184.13	183.898	-0.232
5	587163.2	9112669	185.711	185.244	-0.467
5	587189.6	9112466	180.74	181.439	0.699
5	587207.9	9113868	184.388	185.162	0.774
5	587218.7	9112780	185.828	186.179	0.351
5	587569.7	9113327	120.91	120.895	-0.015
5	587607.1	9113050	186.931	186.911	-0.02
5	587610.9	9113055	184.917	185.102	0.185
5	587929.3	9113613	138.74	139.553	0.813
5	587957.3	9113581	138.19	141.184	2.994
5	587972.1	9113073	152.5	155.331	2.831
5	588099.3	9113274	138.69	137.783	-0.907
5	588184.6	9114317	134.59	133.639	-0.951
5	588207.3	9113444	118.97	117.998	-0.972
5	588232.6	9113869	121.41	121.844	0.434
5	588269.9	9113543	119.27	119.332	0.062
5	588361.9	9113827	127.64	130.171	2.531
5	588395.1	9113741	130.59	132.685	2.095
5	588423.2	9113785	132.29	131.9	-0.39
5	588440.3	9113812	137.59	137.019	-0.571
5	588494.7	9113898	148.32	148.084	-0.236
5	588587.2	9114409	172.59	174.67	2.08
5	588651.8	9114571	160.77	165.943	5.173
5	588683.1	9114540	181.79	182.805	1.015
5	589106.6	9114792	186.085	184.264	-1.821

5	589301.6	9114909	172.29	173.419	1.129
5	585342.9	9113826	174.19	173.418	-0.772
5	585585.3	9113815	186.065	188.815	2.75
5	585624.1	9114195	180.29	179.548	-0.742
5	585701.2	9114217	181.17	181.442	0.272
5	585760.6	9113859	165.69	166.344	0.654
5	585775.2	9113927	172.84	173.914	1.074
5	586124.2	9113446	182.585	181.637	-0.948
5	586131.8	9113752	176.29	177.813	1.523
5	586339.2	9113369	171.02	174.944	3.924
5	586364.1	9113329	182.61	183.152	0.542
5	586370.8	9113319	186.108	187.395	1.287
5	586399.4	9113369	178	178.959	0.959
5	586506.5	9113576	184.322	144.625	-39.697
5	586729.8	9113473	137.49	137.992	0.502
5	586954.5	9112756	176.19	175.963	-0.227
5	586968.1	9112950	148.59	148.042	-0.548
5	587047	9113252	134.99	135.153	0.163
5	587455.3	9114452	181.535	181.441	-0.094
5	587460.9	9114147	185.108	184.872	-0.236
5	587474.6	9114155	178.64	179.534	0.894
5	587535.9	9114188	158.31	153.317	-4.993
5	587571.9	9113311	120.41	120.996	0.586
5	587588.4	9114939	181.992	182.504	0.512
5	587592.2	9113160	139.89	143.673	3.783
5	587605.2	9113064	181.99	183.297	1.307
5	587614.8	9113060	181.79	183.668	1.878
5	587647	9113933	132.64	131.13	-1.51
5	587803.9	9114607	181.496	183.351	1.855
5	587817.1	9114613	187.241	186.419	-0.822
5	588190	9113318	139.49	143.262	3.772
5	588273.9	9113858	124.21	123.889	-0.321
5	588351.7	9113672	123.21	124.204	0.994
5	588377.6	9113821	131.69	133.819	2.129
5	588423.8	9114353	129.74	133.893	4.153
5	588453.5	9113833	139.79	139.593	-0.197
5	588464.4	9114508	139.89	142.188	2.298
5	588500	9114313	155.62	161.926	6.306
5	588513	9114307	160.38	160.425	0.045
5	588519.2	9114701	184.515	183.126	-1.389
5	588730.4	9113696	171.89	178.077	6.187
5	589079.2	9114889	168.23	166.631	-1.599
5	589300.9	9114902	176.09	176.167	0.077
rata-rata			161.5183		0.03763

Menggunakan Persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7 maka:

Mean Error = 0,0376

Mean Absolute Error = 1,903

Goodness of Prediction Statistic = 0,96407

2. Hasil Prediksi Data dengan Jumlah Data Referensi 10

jumlah titik	x	y	z (x _i ,y _i)	z*(x _i ,y _i)	z*-z
10	585342.9	9113826	174.19	174.737	0.547
10	586026.7	9113149	180.29	181.29	1
10	586126.2	9113735	180.664	181.468	0.804
10	586368.6	9113322	185.015	185.417	0.402
10	586390.2	9113351	182.331	180.915	-1.416
10	587163.2	9112669	185.711	185.244	-0.467
10	587588.4	9114939	181.992	182.504	0.512
10	587647	9113933	132.64	131.142	-1.498
10	585337.5	9113783	186.641	184.819	-1.822
10	585343.9	9113835	173.39	174.25	0.86
10	585349.1	9113878	176.59	179.48	2.89
10	585568.5	9114007	183.99	182.769	-1.221
10	585585.3	9113815	186.065	188.766	2.701
10	585680.9	9114211	180.09	180.556	0.466
10	585701.2	9114217	181.17	181.912	0.742
10	585775.2	9113927	172.84	173.966	1.126
10	585800.1	9114040	177.99	166.067	-11.923
10	586128.6	9113439	179.39	179.922	0.532
10	586131.8	9113752	176.29	177.423	1.133
10	586138.4	9113422	173.79	171.84	-1.95
10	586146.4	9113674	182.61	181.166	-1.444
10	586265.1	9113486	162.15	163.925	1.775
10	586374.8	9113321	186.398	187.175	0.777
10	586478.8	9113522	155.4	153.382	-2.018
10	586506.5	9113576	184.322	144.503	-39.819
10	586646.1	9113846	181.79	183.039	1.249
10	586930.9	9112753	182.247	182.504	0.257
10	586992.4	9112759	168.33	167.183	-1.147
10	587078.4	9112655	154.45	157.598	3.148
10	587153.9	9112668	181.79	181.994	0.204
10	587189.6	9112466	180.74	181.376	0.636
10	587207.9	9113868	184.388	184.976	0.588
10	587474.6	9114155	178.64	179.29	0.65
10	587524.7	9113661	133.59	132.276	-1.314
10	587569.7	9113327	120.91	120.751	-0.159
10	587571.9	9113311	120.41	120.767	0.357
10	587607.1	9113050	186.931	186.911	-0.02
10	587614.8	9113060	181.79	183.149	1.359
10	587862.1	9113689	152.7	148.213	-4.487
10	587871.1	9112914	181.79	177.666	-4.124
10	587945.7	9113595	138.29	139.343	1.053
10	587957.3	9113581	138.19	140.865	2.675
10	588125.2	9113391	118.42	118.708	0.288
10	588180.5	9113800	123.31	122.175	-1.135
10	588184.6	9114317	134.59	133.154	-1.436
10	588198.3	9113308	150.09	157.664	7.574
10	588377.6	9113821	131.69	134.447	2.757

10	588395.1	9113741	130.59	132.747	2.157
10	588423.2	9113785	132.29	132.282	-0.008
10	588494.7	9113898	148.32	148.175	-0.145
10	588611.8	9114389	180.64	182.895	2.255
10	588730.4	9113696	171.89	177.869	5.979
10	589106.6	9114792	186.085	183.895	-2.19
10	589302.3	9114915	171.44	175.693	4.253
10	585576.9	9114182	185.533	184.784	-0.749
10	585624.1	9114195	180.29	179.368	-0.922
10	585760.6	9113859	165.69	166.353	0.663
10	586136.6	9113689	183.737	182.268	-1.469
10	586212.1	9113994	160	163.18	3.18
10	586364.1	9113329	182.61	183.185	0.575
10	586372.2	9113317	187.359	187.359	0
10	586729.8	9113473	137.49	138.309	0.819
10	586855.2	9113650	143.54	143.435	-0.105
10	586953.2	9112892	154.75	154.722	-0.028
10	586954.5	9112756	176.19	175.465	-0.725
10	587031	9113190	134.29	134.237	-0.053
10	587059.4	9113300	131.54	133.458	1.918
10	587077.8	9112438	189.53	171.051	-18.479
10	587114.2	9113509	172.54	170.592	-1.948
10	587128.2	9112772	157.91	160.181	2.271
10	587455.3	9114452	181.535	181.357	-0.178
10	587460.9	9114147	185.108	184.436	-0.672
10	587535.9	9114188	158.31	153.104	-5.206
10	587538.9	9113555	128.84	129.739	0.899
10	587576.8	9113274	121.01	120.903	-0.107
10	587592.2	9113160	139.89	144.847	4.957
10	587605.2	9113064	181.99	183.021	1.031
10	587610.9	9113055	184.917	184.92	0.003
10	587790.4	9114601	176.19	182.584	6.394
10	587817.1	9114613	187.241	186.419	-0.822
10	587972.1	9113073	152.5	154.752	2.252
10	588033.6	9114384	158.01	156.945	-1.065
10	588099.3	9113274	138.69	137.108	-1.582
10	588190	9113318	139.49	145.189	5.699
10	588273.9	9113858	124.21	124.293	0.083
10	588351.7	9113672	123.21	124.634	1.424
10	588393	9113816	133.99	133.547	-0.443
10	588423.8	9114353	129.74	135.101	5.361
10	588440.3	9113812	137.59	136.865	-0.725
10	588453.5	9113833	139.79	139.435	-0.355
10	588464.4	9114508	139.89	142.463	2.573
10	588513	9114307	160.38	161.435	1.055
10	588519.2	9114701	184.515	182.561	-1.954
10	589079.2	9114889	168.23	167.014	-1.216
10	585351	9113893	181.338	181.548	0.21
10	585356.2	9113936	186.897	186.11	-0.787
10	585571	9113979	175.29	175.617	0.327

10	585573.7	9114020	184.55	183.07	-1.48
10	585586.1	9113806	188.917	188.728	-0.189
10	585599.1	9114322	184.202	182.902	-1.3
10	585740.1	9113766	177.66	175.52	-2.14
10	586031.1	9113146	181.79	183.533	1.743
10	586124.2	9113446	182.585	181.924	-0.661
10	586133.9	9113693	182.765	183.57	0.805
10	586339.2	9113369	171.02	175.492	4.472
10	586370.8	9113319	186.108	187.158	1.05
10	586399.4	9113369	178	178.959	0.959
10	586738.1	9113485	137.49	139.285	1.795
10	586786.1	9113553	139.19	139.918	0.728
10	586816.1	9113595	142.69	144.035	1.345
10	586968.1	9112950	148.59	148.122	-0.468
10	587047	9113252	134.99	135.104	0.114
10	587056.5	9113288	131.39	132.607	1.217
10	587078.2	9113371	130.59	137.471	6.881
10	587100.9	9112769	149.14	152.81	3.67
10	587159	9112669	184.13	183.715	-0.415
10	587171.6	9112776	168.08	173.686	5.606
10	587218.7	9112780	185.828	185.993	0.165
10	587590.2	9113175	135.49	134.485	-1.005
10	587803.9	9114607	181.496	183.168	1.672
10	587929.3	9113613	138.74	139.411	0.671
10	587960.6	9114417	185.98	185.88	-0.1
10	588096.8	9113423	117.72	118.311	0.591
10	588149.3	9113353	120.06	122.559	2.499
10	588207.3	9113444	118.97	117.913	-1.057
10	588232.6	9113869	121.41	121.743	0.333
10	588269.9	9113543	119.27	119.589	0.319
10	588296.9	9113586	119.27	119.778	0.508
10	588361.9	9113827	127.64	130.532	2.892
10	588500	9114313	155.62	162.544	6.924
10	588587.2	9114409	172.59	174.829	2.239
10	588651.8	9114571	160.77	167.399	6.629
10	588683.1	9114540	181.79	182.805	1.015
10	589300.9	9114902	176.09	176.638	0.548
10	589301.6	9114909	172.29	173.867	1.577
rata-rata			161.5183		0.194215

Menggunakan Persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7 maka:

Mean Error = 0,1942

Mean Absolute Error = 2,093

Goodness of Prediction Statistic = 0,96176

3. Hasil Prediksi Data dengan Jumlah Data Referensi 15

jumlah titik	x	y	z (x _i ,y _i)	z*(x _i ,y _i)	z*-z
15	585349.1	9113878	176.59	179.413	2.823
15	585775.2	9113927	172.84	174.131	1.291
15	586126.2	9113735	180.664	181.282	0.618
15	586954.5	9112756	176.19	175.523	-0.667
15	587056.5	9113288	131.39	132.581	1.191
15	587100.9	9112769	149.14	153.578	4.438
15	587460.9	9114147	185.108	184.531	-0.577
15	587605.2	9113064	181.99	182.84	0.85
15	587647	9113933	132.64	130.978	-1.662
15	588500	9114313	155.62	163.37	7.75
15	585337.5	9113783	186.641	184.634	-2.007
15	585568.5	9114007	183.99	182.757	-1.233
15	585571	9113979	175.29	175.751	0.461
15	585573.7	9114020	184.55	183.226	-1.324
15	585586.1	9113806	188.917	188.728	-0.189
15	585624.1	9114195	180.29	179.554	-0.736
15	585680.9	9114211	180.09	180.311	0.221
15	586128.6	9113439	179.39	179.687	0.297
15	586136.6	9113689	183.737	182.237	-1.5
15	586339.2	9113369	171.02	175.939	4.919
15	586364.1	9113329	182.61	183.133	0.523
15	586368.6	9113322	185.015	185.547	0.532
15	586372.2	9113317	187.359	187.359	0
15	586399.4	9113369	178	178.983	0.983
15	586478.8	9113522	155.4	153.558	-1.842
15	586646.1	9113846	181.79	183.039	1.249
15	586729.8	9113473	137.49	138.07	0.58
15	586738.1	9113485	137.49	139.343	1.853
15	586816.1	9113595	142.69	144.502	1.812
15	587059.4	9113300	131.54	133.786	2.246
15	587078.4	9112655	154.45	158.518	4.068
15	587114.2	9113509	172.54	170.706	-1.834
15	587189.6	9112466	180.74	181.376	0.636
15	587571.9	9113311	120.41	121.107	0.697
15	587817.1	9114613	187.241	186.419	-0.822
15	587960.6	9114417	185.98	185.88	-0.1
15	588149.3	9113353	120.06	123.159	3.099
15	588184.6	9114317	134.59	133.073	-1.517
15	588198.3	9113308	150.09	156.989	6.899
15	588269.9	9113543	119.27	119.716	0.446
15	588351.7	9113672	123.21	124.613	1.403
15	588393	9113816	133.99	134.087	0.097
15	588395.1	9113741	130.59	133.085	2.495
15	588440.3	9113812	137.59	137.049	-0.541
15	588464.4	9114508	139.89	143.104	3.214
15	589301.6	9114909	172.29	174.346	2.056
15	585342.9	9113826	174.19	175.601	1.411

15	585343.9	9113835	173.39	174.851	1.461
15	585576.9	9114182	185.533	184.393	-1.14
15	585599.1	9114322	184.202	182.717	-1.485
15	586026.7	9113149	180.29	181.29	1
15	586124.2	9113446	182.585	181.743	-0.842
15	586212.1	9113994	160	163.631	3.631
15	586390.2	9113351	182.331	180.635	-1.696
15	586786.1	9113553	139.19	140.063	0.873
15	586953.2	9112892	154.75	154.998	0.248
15	586992.4	9112759	168.33	167.2	-1.13
15	587031	9113190	134.29	134.549	0.259
15	587047	9113252	134.99	135.521	0.531
15	587077.8	9112438	189.53	171.386	-18.144
15	587078.2	9113371	130.59	138.111	7.521
15	587128.2	9112772	157.91	161.253	3.343
15	587524.7	9113661	133.59	132.26	-1.33
15	587535.9	9114188	158.31	152.847	-5.463
15	587569.7	9113327	120.91	120.882	-0.028
15	587588.4	9114939	181.992	182.319	0.327
15	587590.2	9113175	135.49	134.866	-0.624
15	587592.2	9113160	139.89	145.734	5.844
15	587607.1	9113050	186.931	186.911	-0.02
15	587610.9	9113055	184.917	184.733	-0.184
15	587790.4	9114601	176.19	182.774	6.584
15	587803.9	9114607	181.496	183.168	1.672
15	587871.1	9112914	181.79	177.57	-4.22
15	588099.3	9113274	138.69	138.201	-0.489
15	588190	9113318	139.49	145.181	5.691
15	588232.6	9113869	121.41	121.759	0.349
15	588273.9	9113858	124.21	124.516	0.306
15	588296.9	9113586	119.27	120.223	0.953
15	588377.6	9113821	131.69	134.755	3.065
15	588513	9114307	160.38	162.174	1.794
15	588587.2	9114409	172.59	174.687	2.097
15	588611.8	9114389	180.64	182.9	2.26
15	588651.8	9114571	160.77	167.845	7.075
15	588683.1	9114540	181.79	182.805	1.015
15	588730.4	9113696	171.89	177.337	5.447
15	589300.9	9114902	176.09	176.614	0.524
15	585351	9113893	181.338	181.69	0.352
15	585356.2	9113936	186.897	186.11	-0.787
15	585585.3	9113815	186.065	188.675	2.61
15	585701.2	9114217	181.17	182.251	1.081
15	585740.1	9113766	177.66	175.467	-2.193
15	585760.6	9113859	165.69	166.246	0.556
15	585800.1	9114040	177.99	165.903	-12.087
15	586031.1	9113146	181.79	183.533	1.743
15	586131.8	9113752	176.29	177.423	1.133
15	586133.9	9113693	182.765	182.973	0.208
15	586138.4	9113422	173.79	171.791	-1.999

15	586146.4	9113674	182.61	181.316	-1.294
15	586265.1	9113486	162.15	164.126	1.976
15	586370.8	9113319	186.108	187.131	1.023
15	586374.8	9113321	186.398	187.155	0.757
15	586506.5	9113576	184.322	144.76	-39.562
15	586855.2	9113650	143.54	143.272	-0.268
15	586930.9	9112753	182.247	182.473	0.226
15	586968.1	9112950	148.59	147.84	-0.75
15	587153.9	9112668	181.79	181.631	-0.159
15	587159	9112669	184.13	183.715	-0.415
15	587163.2	9112669	185.711	185.244	-0.467
15	587171.6	9112776	168.08	173.651	5.571
15	587207.9	9113868	184.388	184.791	0.403
15	587218.7	9112780	185.828	185.807	-0.021
15	587455.3	9114452	181.535	181.175	-0.36
15	587474.6	9114155	178.64	179.203	0.563
15	587538.9	9113555	128.84	129.483	0.643
15	587576.8	9113274	121.01	121.015	0.005
15	587614.8	9113060	181.79	182.915	1.125
15	587862.1	9113689	152.7	147.636	-5.064
15	587929.3	9113613	138.74	139.509	0.769
15	587945.7	9113595	138.29	139.108	0.818
15	587957.3	9113581	138.19	140.653	2.463
15	587972.1	9113073	152.5	154.808	2.308
15	588033.6	9114384	158.01	156.84	-1.17
15	588096.8	9113423	117.72	118.212	0.492
15	588125.2	9113391	118.42	119.371	0.951
15	588180.5	9113800	123.31	122.714	-0.596
15	588207.3	9113444	118.97	118.309	-0.661
15	588361.9	9113827	127.64	130.869	3.229
15	588423.2	9113785	132.29	132.266	-0.024
15	588423.8	9114353	129.74	135.906	6.166
15	588453.5	9113833	139.79	139.601	-0.189
15	588494.7	9113898	148.32	148.448	0.128
15	588519.2	9114701	184.515	182.495	-2.02
15	589079.2	9114889	168.23	167.83	-0.4
15	589106.6	9114792	186.085	183.71	-2.375
15	589302.3	9114915	171.44	175.608	4.168
rata-rata			161.5183		0.29843

Menggunakan Persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7 maka:

Mean Error = 0,2984

Mean Absolute Error = 2,168

Goodness of Prediction Statistic = 0,96098

4. Hasil Prediksi Data dengan Jumlah Data Referensi 20

jumlah titik	x	y	z (x _i ,y _i)	z*(x _i ,y _i)	z*-z
20	585568.5	9114007	183.99	182.576	-1.414
20	585599.1	9114322	184.202	182.535	-1.667
20	585760.6	9113859	165.69	166.495	0.805
20	586136.6	9113689	183.737	182.199	-1.538
20	586646.1	9113846	181.79	183.039	1.249
20	587207.9	9113868	184.388	184.791	0.403
20	587460.9	9114147	185.108	184.323	-0.785
20	587524.7	9113661	133.59	132.085	-1.505
20	587538.9	9113555	128.84	129.552	0.712
20	587588.4	9114939	181.992	182.137	0.145
20	587590.2	9113175	135.49	134.555	-0.935
20	587592.2	9113160	139.89	145.363	5.473
20	587605.2	9113064	181.99	182.84	0.85
20	587610.9	9113055	184.917	184.546	-0.371
20	587871.1	9112914	181.79	177.391	-4.399
20	587972.1	9113073	152.5	154.664	2.164
20	588184.6	9114317	134.59	133.051	-1.539
20	588190	9113318	139.49	145.089	5.599
20	588269.9	9113543	119.27	119.771	0.501
20	588296.9	9113586	119.27	120.131	0.861
20	588351.7	9113672	123.21	124.689	1.479
20	588377.6	9113821	131.69	135.495	3.805
20	588395.1	9113741	130.59	132.996	2.406
20	588423.2	9113785	132.29	132.321	0.031
20	588423.8	9114353	129.74	136.266	6.526
20	588440.3	9113812	137.59	137.067	-0.523
20	588453.5	9113833	139.79	139.756	-0.034
20	588464.4	9114508	139.89	142.979	3.089
20	588494.7	9113898	148.32	148.098	-0.222
20	588500	9114313	155.62	163.783	8.163
20	588513	9114307	160.38	162.61	2.23
20	588519.2	9114701	184.515	182.311	-2.204
20	588587.2	9114409	172.59	174.514	1.924
20	588611.8	9114389	180.64	182.718	2.078
20	588651.8	9114571	160.77	167.682	6.912
20	588683.1	9114540	181.79	182.805	1.015
20	588730.4	9113696	171.89	177.012	5.122
20	589079.2	9114889	168.23	167.956	-0.274
20	589106.6	9114792	186.085	183.341	-2.744
20	589300.9	9114902	176.09	176.614	0.524
20	589301.6	9114909	172.29	174.346	2.056
20	589302.3	9114915	171.44	175.608	4.168
20	585342.9	9113826	174.19	175.729	1.539
20	585356.2	9113936	186.897	185.737	-1.16
20	585576.9	9114182	185.533	184.341	-1.192
20	585624.1	9114195	180.29	179.575	-0.715
20	585701.2	9114217	181.17	182.618	1.448

20	586026.7	9113149	180.29	181.29	1
20	586124.2	9113446	182.585	181.561	-1.024
20	586131.8	9113752	176.29	177.245	0.955
20	586212.1	9113994	160	163.178	3.178
20	586265.1	9113486	162.15	164.524	2.374
20	586364.1	9113329	182.61	183.285	0.675
20	586370.8	9113319	186.108	186.944	0.836
20	586372.2	9113317	187.359	187.359	0
20	586374.8	9113321	186.398	186.968	0.57
20	586478.8	9113522	155.4	153.618	-1.782
20	586738.1	9113485	137.49	139.265	1.775
20	586816.1	9113595	142.69	144.505	1.815
20	586954.5	9112756	176.19	175.278	-0.912
20	587077.8	9112438	189.53	171.095	-18.435
20	587100.9	9112769	149.14	154.148	5.008
20	587159	9112669	184.13	183.715	-0.415
20	587171.6	9112776	168.08	173.651	5.571
20	587569.7	9113327	120.91	120.639	-0.271
20	587571.9	9113311	120.41	121.34	0.93
20	587576.8	9113274	121.01	121.382	0.372
20	587607.1	9113050	186.931	186.911	-0.02
20	587614.8	9113060	181.79	182.915	1.125
20	587647	9113933	132.64	131.34	-1.3
20	587803.9	9114607	181.496	183.168	1.672
20	587817.1	9114613	187.241	186.233	-1.008
20	587957.3	9113581	138.19	140.489	2.299
20	587960.6	9114417	185.98	185.88	-0.1
20	588096.8	9113423	117.72	118.937	1.217
20	588125.2	9113391	118.42	120.356	1.936
20	588198.3	9113308	150.09	157.094	7.004
20	588207.3	9113444	118.97	118.339	-0.631
20	588232.6	9113869	121.41	121.513	0.103
20	585337.5	9113783	186.641	184.634	-2.007
20	585585.3	9113815	186.065	188.605	2.54
20	585680.9	9114211	180.09	180.839	0.749
20	585775.2	9113927	172.84	173.813	0.973
20	586128.6	9113439	179.39	180.048	0.658
20	586146.4	9113674	182.61	180.953	-1.657
20	586339.2	9113369	171.02	175.505	4.485
20	586506.5	9113576	184.322	145.106	-39.216
20	586786.1	9113553	139.19	140.068	0.878
20	586855.2	9113650	143.54	143.753	0.213
20	586968.1	9112950	148.59	147.736	-0.854
20	587047	9113252	134.99	135.817	0.827
20	587056.5	9113288	131.39	133.161	1.771
20	587114.2	9113509	172.54	170.594	-1.946
20	587128.2	9112772	157.91	161.312	3.402
20	587153.9	9112668	181.79	181.447	-0.343
20	587218.7	9112780	185.828	185.807	-0.021
20	587455.3	9114452	181.535	181.175	-0.36

20	587474.6	9114155	178.64	178.85	0.21
20	587535.9	9114188	158.31	152.811	-5.499
20	587790.4	9114601	176.19	183.109	6.919
20	587862.1	9113689	152.7	147.423	-5.277
20	587929.3	9113613	138.74	139.713	0.973
20	587945.7	9113595	138.29	138.902	0.612
20	588033.6	9114384	158.01	156.788	-1.222
20	588099.3	9113274	138.69	138.912	0.222
20	588149.3	9113353	120.06	123.103	3.043
20	588180.5	9113800	123.31	122.981	-0.329
20	588273.9	9113858	124.21	124.989	0.779
20	588361.9	9113827	127.64	131.195	3.555
20	588393	9113816	133.99	133.863	-0.127
20	585343.9	9113835	173.39	174.623	1.233
20	585349.1	9113878	176.59	177.246	0.656
20	585351	9113893	181.338	180.924	-0.414
20	585571	9113979	175.29	175.718	0.428
20	585573.7	9114020	184.55	183.042	-1.508
20	585586.1	9113806	188.917	188.728	-0.189
20	585740.1	9113766	177.66	175.299	-2.361
20	585800.1	9114040	177.99	165.903	-12.087
20	586031.1	9113146	181.79	183.35	1.56
20	586126.2	9113735	180.664	181.1	0.436
20	586133.9	9113693	182.765	183.094	0.329
20	586138.4	9113422	173.79	172.111	-1.679
20	586368.6	9113322	185.015	185.363	0.348
20	586390.2	9113351	182.331	180.585	-1.746
20	586399.4	9113369	178	179.085	1.085
20	586729.8	9113473	137.49	138.397	0.907
20	586930.9	9112753	182.247	182.108	-0.139
20	586953.2	9112892	154.75	155.262	0.512
20	586992.4	9112759	168.33	166.995	-1.335
20	587031	9113190	134.29	134.768	0.478
20	587059.4	9113300	131.54	133.685	2.145
20	587078.2	9113371	130.59	138.498	7.908
20	587078.4	9112655	154.45	158.684	4.234
20	587163.2	9112669	185.711	185.244	-0.467
20	587189.6	9112466	180.74	181.376	0.636
rata-rata			161.5183		0.292548

Menggunakan Persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7 maka:

Mean Error = 0,2925

Mean Absolute Error = 2,217

Goodness of Prediction Statistic = 0,9608

5. Hasil Prediksi Data dengan Jumlah Data Referensi 25

jumlah titik	x	y	$z(x_i, y_i)$	$z^*(x_i, y_i)$	z^*-z
25	585337.5	9113783	186.641	184.634	-2.007
25	585342.9	9113826	174.19	176.032	1.842
25	585343.9	9113835	173.39	174.665	1.275
25	585349.1	9113878	176.59	177.443	0.853
25	585351	9113893	181.338	180.771	-0.567
25	585356.2	9113936	186.897	186.084	-0.813
25	585568.5	9114007	183.99	182.576	-1.414
25	585571	9113979	175.29	176.084	0.794
25	585573.7	9114020	184.55	183.042	-1.508
25	585576.9	9114182	185.533	184.32	-1.213
25	585585.3	9113815	186.065	188.59	2.525
25	585586.1	9113806	188.917	188.539	-0.378
25	585599.1	9114322	184.202	182.535	-1.667
25	585624.1	9114195	180.29	179.774	-0.516
25	585680.9	9114211	180.09	181.398	1.308
25	585701.2	9114217	181.17	182.256	1.086
25	585740.1	9113766	177.66	175.647	-2.013
25	585760.6	9113859	165.69	166.184	0.494
25	585775.2	9113927	172.84	173.516	0.676
25	585800.1	9114040	177.99	165.903	-12.087
25	586026.7	9113149	180.29	181.29	1
25	586031.1	9113146	181.79	183.35	1.56
25	586124.2	9113446	182.585	181.561	-1.024
25	586126.2	9113735	180.664	181.1	0.436
25	586128.6	9113439	179.39	179.87	0.48
25	586131.8	9113752	176.29	177.245	0.955
25	586133.9	9113693	182.765	183.239	0.474
25	586136.6	9113689	183.737	182.165	-1.572
25	586138.4	9113422	173.79	171.925	-1.865
25	586146.4	9113674	182.61	180.772	-1.838
25	586212.1	9113994	160	163.016	3.016
25	586265.1	9113486	162.15	164.034	1.884
25	586339.2	9113369	171.02	175.406	4.386
25	586364.1	9113329	182.61	182.735	0.125
25	586368.6	9113322	185.015	185.176	0.161
25	586370.8	9113319	186.108	186.944	0.836
25	586372.2	9113317	187.359	187.359	0
25	586374.8	9113321	186.398	186.968	0.57
25	586390.2	9113351	182.331	180.403	-1.928
25	586399.4	9113369	178	178.723	0.723
25	586478.8	9113522	155.4	153.682	-1.718
25	586506.5	9113576	184.322	145.365	-38.957
25	586646.1	9113846	181.79	183.039	1.249
25	586729.8	9113473	137.49	138.277	0.787
25	586738.1	9113485	137.49	139.592	2.102
25	586786.1	9113553	139.19	140.208	1.018
25	586816.1	9113595	142.69	145.27	2.58

25	586855.2	9113650	143.54	144.248	0.708
25	586930.9	9112753	182.247	182.108	-0.139
25	586953.2	9112892	154.75	155.091	0.341
25	586954.5	9112756	176.19	175.343	-0.847
25	586968.1	9112950	148.59	148.264	-0.326
25	586992.4	9112759	168.33	166.562	-1.768
25	587031	9113190	134.29	135.035	0.745
25	587047	9113252	134.99	135.971	0.981
25	587056.5	9113288	131.39	132.898	1.508
25	587059.4	9113300	131.54	133.685	2.145
25	587077.8	9112438	189.53	171.169	-18.361
25	587078.2	9113371	130.59	139.228	8.638
25	587078.4	9112655	154.45	159.213	4.763
25	587100.9	9112769	149.14	154.434	5.294
25	587114.2	9113509	172.54	171.409	-1.131
25	587128.2	9112772	157.91	160.998	3.088
25	587153.9	9112668	181.79	181.447	-0.343
25	587159	9112669	184.13	183.715	-0.415
25	587163.2	9112669	185.711	185.244	-0.467
25	587171.6	9112776	168.08	173.302	5.222
25	587189.6	9112466	180.74	181.376	0.636
25	587207.9	9113868	184.388	184.606	0.218
25	587218.7	9112780	185.828	185.807	-0.021
25	587455.3	9114452	181.535	180.994	-0.541
25	587460.9	9114147	185.108	184.323	-0.785
25	587474.6	9114155	178.64	178.85	0.21
25	587524.7	9113661	133.59	132.08	-1.51
25	587535.9	9114188	158.31	152.501	-5.809
25	587538.9	9113555	128.84	129.598	0.758
25	587569.7	9113327	120.91	120.82	-0.09
25	587571.9	9113311	120.41	121.956	1.546
25	587576.8	9113274	121.01	121.392	0.382
25	587588.4	9114939	181.992	182.137	0.145
25	587590.2	9113175	135.49	134.76	-0.73
25	587592.2	9113160	139.89	145.121	5.231
25	587605.2	9113064	181.99	182.656	0.666
25	587607.1	9113050	186.931	186.911	-0.02
25	587610.9	9113055	184.917	184.546	-0.371
25	587614.8	9113060	181.79	182.544	0.754
25	587647	9113933	132.64	131.75	-0.89
25	587790.4	9114601	176.19	182.897	6.707
25	587803.9	9114607	181.496	183.168	1.672
25	587817.1	9114613	187.241	186.233	-1.008
25	587862.1	9113689	152.7	147.03	-5.67
25	587871.1	9112914	181.79	177.211	-4.579
25	587929.3	9113613	138.74	139.075	0.335
25	587945.7	9113595	138.29	138.766	0.476
25	587957.3	9113581	138.19	140.392	2.202
25	587960.6	9114417	185.98	185.88	-0.1
25	587972.1	9113073	152.5	154.824	2.324

25	588033.6	9114384	158.01	156.992	-1.018
25	588096.8	9113423	117.72	118.739	1.019
25	588099.3	9113274	138.69	139.042	0.352
25	588125.2	9113391	118.42	120.376	1.956
25	588149.3	9113353	120.06	122.862	2.802
25	588180.5	9113800	123.31	123.248	-0.062
25	588184.6	9114317	134.59	133.192	-1.398
25	588190	9113318	139.49	144.789	5.299
25	588198.3	9113308	150.09	156.784	6.694
25	588207.3	9113444	118.97	118.628	-0.342
25	588232.6	9113869	121.41	121.391	-0.019
25	588269.9	9113543	119.27	120.237	0.967
25	588273.9	9113858	124.21	125.3	1.09
25	588296.9	9113586	119.27	120.529	1.259
25	588351.7	9113672	123.21	124.89	1.68
25	588361.9	9113827	127.64	131.019	3.379
25	588377.6	9113821	131.69	135.029	3.339
25	588393	9113816	133.99	133.944	-0.046
25	588395.1	9113741	130.59	133.029	2.439
25	588423.2	9113785	132.29	132.884	0.594
25	588423.8	9114353	129.74	137.249	7.509
25	588440.3	9113812	137.59	137.257	-0.333
25	588453.5	9113833	139.79	139.996	0.206
25	588464.4	9114508	139.89	143.442	3.552
25	588494.7	9113898	148.32	148.497	0.177
25	588500	9114313	155.62	163.747	8.127
25	588513	9114307	160.38	162.685	2.305
25	588519.2	9114701	184.515	182.311	-2.204
25	588587.2	9114409	172.59	174.34	1.75
25	588611.8	9114389	180.64	182.718	2.078
25	588651.8	9114571	160.77	167.682	6.912
25	588683.1	9114540	181.79	182.805	1.015
25	588730.4	9113696	171.89	177.012	5.122
25	589079.2	9114889	168.23	168.539	0.309
25	589106.6	9114792	186.085	183.341	-2.744
25	589300.9	9114902	176.09	176.614	0.524
25	589301.6	9114909	172.29	174.346	2.056
25	589302.3	9114915	171.44	175.608	4.168
rata-rata			161.5183		0.328867

Menggunakan Persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7 maka:

Mean Error = 0,3289

Mean Absolute Error = 2,213

Goodness of Prediction Statistic = 0,96086

6. Hasil Prediksi Data dengan Jumlah Data Referensi 30

jumlah titik	x	y	z (x _i ,y _i)	z*(x _i ,y _i)	z*-z
30	585337.5	9113783	186.641	184.448	-2.193
30	585342.9	9113826	174.19	176.334	2.144
30	585343.9	9113835	173.39	175.137	1.747
30	585349.1	9113878	176.59	177.67	1.08
30	585351	9113893	181.338	180.771	-0.567
30	585356.2	9113936	186.897	186.056	-0.841
30	585568.5	9114007	183.99	182.392	-1.598
30	585571	9113979	175.29	176.249	0.959
30	585573.7	9114020	184.55	183.042	-1.508
30	585576.9	9114182	185.533	184.32	-1.213
30	585585.3	9113815	186.065	188.908	2.843
30	585586.1	9113806	188.917	188.539	-0.378
30	585599.1	9114322	184.202	182.35	-1.852
30	585624.1	9114195	180.29	179.594	-0.696
30	585680.9	9114211	180.09	181.218	1.128
30	585701.2	9114217	181.17	182.256	1.086
30	585740.1	9113766	177.66	175.865	-1.795
30	585760.6	9113859	165.69	166.184	0.494
30	585775.2	9113927	172.84	173.672	0.832
30	585800.1	9114040	177.99	165.903	-12.087
30	586026.7	9113149	180.29	181.29	1
30	586031.1	9113146	181.79	183.35	1.56
30	586124.2	9113446	182.585	181.379	-1.206
30	586126.2	9113735	180.664	181.1	0.436
30	586128.6	9113439	179.39	179.508	0.118
30	586131.8	9113752	176.29	177.245	0.955
30	586133.9	9113693	182.765	182.871	0.106
30	586136.6	9113689	183.737	181.8	-1.937
30	586138.4	9113422	173.79	171.866	-1.924
30	586146.4	9113674	182.61	180.772	-1.838
30	586212.1	9113994	160	162.855	2.855
30	586265.1	9113486	162.15	163.707	1.557
30	586339.2	9113369	171.02	175.836	4.816
30	586364.1	9113329	182.61	182.735	0.125
30	586368.6	9113322	185.015	185.176	0.161
30	586370.8	9113319	186.108	186.944	0.836
30	586372.2	9113317	187.359	187.359	0
30	586374.8	9113321	186.398	186.968	0.57
30	586390.2	9113351	182.331	180.04	-2.291
30	586399.4	9113369	178	178.365	0.365
30	586478.8	9113522	155.4	153.69	-1.71
30	586506.5	9113576	184.322	145.342	-38.98
30	586646.1	9113846	181.79	182.856	1.066
30	586729.8	9113473	137.49	138.002	0.512
30	586738.1	9113485	137.49	139.993	2.503
30	586786.1	9113553	139.19	140.353	1.163
30	586816.1	9113595	142.69	145.754	3.064

30	586855.2	9113650	143.54	144.131	0.591
30	586930.9	9112753	182.247	181.565	-0.682
30	586953.2	9112892	154.75	155.664	0.914
30	586954.5	9112756	176.19	175.301	-0.889
30	586968.1	9112950	148.59	148.871	0.281
30	586992.4	9112759	168.33	166.472	-1.858
30	587031	9113190	134.29	135.393	1.103
30	587047	9113252	134.99	136.121	1.131
30	587056.5	9113288	131.39	132.63	1.24
30	587059.4	9113300	131.54	133.286	1.746
30	587077.8	9112438	189.53	171.03	-18.5
30	587078.2	9113371	130.59	139.664	9.074
30	587078.4	9112655	154.45	159.276	4.826
30	587100.9	9112769	149.14	154.434	5.294
30	587114.2	9113509	172.54	170.694	-1.846
30	587128.2	9112772	157.91	160.998	3.088
30	587153.9	9112668	181.79	181.447	-0.343
30	587159	9112669	184.13	183.715	-0.415
30	587163.2	9112669	185.711	185.244	-0.467
30	587171.6	9112776	168.08	173.302	5.222
30	587189.6	9112466	180.74	181.376	0.636
30	587207.9	9113868	184.388	184.606	0.218
30	587218.7	9112780	185.828	185.807	-0.021
30	587455.3	9114452	181.535	180.994	-0.541
30	587460.9	9114147	185.108	184.323	-0.785
30	587474.6	9114155	178.64	178.669	0.029
30	587524.7	9113661	133.59	132.293	-1.297
30	587535.9	9114188	158.31	152.747	-5.563
30	587538.9	9113555	128.84	129.682	0.842
30	587569.7	9113327	120.91	121.049	0.139
30	587571.9	9113311	120.41	121.943	1.533
30	587576.8	9113274	121.01	121.331	0.321
30	587588.4	9114939	181.992	182.137	0.145
30	587590.2	9113175	135.49	134.635	-0.855
30	587592.2	9113160	139.89	145.598	5.708
30	587605.2	9113064	181.99	182.656	0.666
30	587607.1	9113050	186.931	186.911	-0.02
30	587610.9	9113055	184.917	184.546	-0.371
30	587614.8	9113060	181.79	182.367	0.577
30	587647	9113933	132.64	131.809	-0.831
30	587790.4	9114601	176.19	182.53	6.34
30	587803.9	9114607	181.496	183.168	1.672
30	587817.1	9114613	187.241	186.233	-1.008
30	587862.1	9113689	152.7	147.338	-5.362
30	587871.1	9112914	181.79	177.211	-4.579
30	587929.3	9113613	138.74	138.995	0.255
30	587945.7	9113595	138.29	138.688	0.398
30	587957.3	9113581	138.19	140.45	2.26
30	587960.6	9114417	185.98	185.88	-0.1
30	587972.1	9113073	152.5	154.852	2.352

30	588033.6	9114384	158.01	156.833	-1.177
30	588096.8	9113423	117.72	118.776	1.056
30	588099.3	9113274	138.69	138.769	0.079
30	588125.2	9113391	118.42	120.17	1.75
30	588149.3	9113353	120.06	122.741	2.681
30	588180.5	9113800	123.31	123.403	0.093
30	588184.6	9114317	134.59	133.998	-0.592
30	588190	9113318	139.49	144.509	5.019
30	588198.3	9113308	150.09	156.475	6.385
30	588207.3	9113444	118.97	118.917	-0.053
30	588232.6	9113869	121.41	121.27	-0.14
30	588269.9	9113543	119.27	120.316	1.046
30	588273.9	9113858	124.21	125.741	1.531
30	588296.9	9113586	119.27	120.498	1.228
30	588351.7	9113672	123.21	124.806	1.596
30	588361.9	9113827	127.64	131.211	3.571
30	588377.6	9113821	131.69	135.266	3.576
30	588393	9113816	133.99	134.05	0.06
30	588395.1	9113741	130.59	132.631	2.041
30	588423.2	9113785	132.29	132.479	0.189
30	588423.8	9114353	129.74	137.436	7.696
30	588440.3	9113812	137.59	136.845	-0.745
30	588453.5	9113833	139.79	140.47	0.68
30	588464.4	9114508	139.89	144.107	4.217
30	588494.7	9113898	148.32	148.784	0.464
30	588500	9114313	155.62	163.402	7.782
30	588513	9114307	160.38	162.508	2.128
30	588519.2	9114701	184.515	182.127	-2.388
30	588587.2	9114409	172.59	174.162	1.572
30	588611.8	9114389	180.64	182.718	2.078
30	588651.8	9114571	160.77	167.519	6.749
30	588683.1	9114540	181.79	182.805	1.015
30	588730.4	9113696	171.89	177.012	5.122
30	589079.2	9114889	168.23	167.934	-0.296
30	589106.6	9114792	186.085	183.341	-2.744
30	589300.9	9114902	176.09	176.614	0.524
30	589301.6	9114909	172.29	174.346	2.056
30	589302.3	9114915	171.44	175.608	4.168
rata-rata			161.5183		0.324089

Menggunakan Persamaan 2.5, 2.6, dan 2.7 maka:

Mean Error = 0,3241

Mean Absolute Error = 2,236

Goodness of Prediction Statistic = 0,9606