

# VISUALISASI PETA KONTUR DALAM SUDUT PANDANG TIGA DIMENSI

**Jimmy**

Jurusan Teknik Informatika, Universitas Surabaya  
Jl. Raya Kalirungkut, Surabaya - 60292  
Email: jimmy@if.ubaya.ac.id, jimmyoentung@gmail.com

**ABSTRAK:** Pada umumnya peta kontur disajikan dalam sudut pandang dua dimensi, dimana kontur dilihat dari atas permukaan bumi. Penyajian peta kontur secara dua dimensi sering kali sulit memberikan gambaran mengenai ketinggian dari permukaan bumi yang sedang diamati. Permasalahan yang muncul ketika akan melakukan visualisasi peta kontur secara tiga dimensi adalah bagaimana cara menghubungkan garis kontur yang satu dengan yang lain. Permasalahan tersebut muncul karena sering kali data peta kontur yang didapat hanya berupa data koordinat bumi dari tiap kontur yang ada. Untuk memecahkan permasalahan tersebut, penulis membuat sebuah algoritma yang dapat meng-konversi kumpulan data koordinat bumi menjadi kumpulan data koordinat *mesh polygon* yang merupakan komponen penyusun objek tiga dimensi. Pembentukan data koordinat *mesh polygon* dilakukan dengan memanfaatkan sebuah jaringan poligon bujur sangkar yang menutupi seluruh daerah peta kontur. Pertama-tama, jaringan poligon bujur sangkar diletakkan mendatar pada ketinggian 0 meter. Kemudian tiap vertex pada jaringan poligon bujur sangkar akan diubah ketinggiannya sesuai dengan ketinggian peta kontur pada koordinat sumbu X dan Y yang sama dengan koordinat X dan Y *vertex*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jaringan poligon, yang ketinggian tiap vertexnya telah disesuaikan dengan ketinggian peta kontur, dapat menggambarkan kontur permukaan bumi secara tiga dimensi.

**Kata kunci:** peta kontur, koordinat bumi, konversi, *mesh polygon*, tiga dimensi.

**ABSTRACT:** A Contour map is commonly displayed in two dimensional view, where the earth's contours captured from above the earth. A Two dimensional contour map often difficult to express the earth's surface velocity. The problem arose when trying to visualize a contour map in three dimension environment, is about how to connect each contour lines that exist within the two dimensional contour map. In order to solve that problem, writer creates an algorithm that able to convert earth's coordinate data into a collection of polygonal mesh data. Conversion process is done by using a square polygon web. At the beginning, the square polygon web was set flat at the height of 0 meter. Then, every vertex on the square polygon web must be altered to the same height as the height of the contour map at the same coordinate. Experiments conducted shows that the square polygon web, which the height has been altered, able to display earth's contours in three-dimensional view.

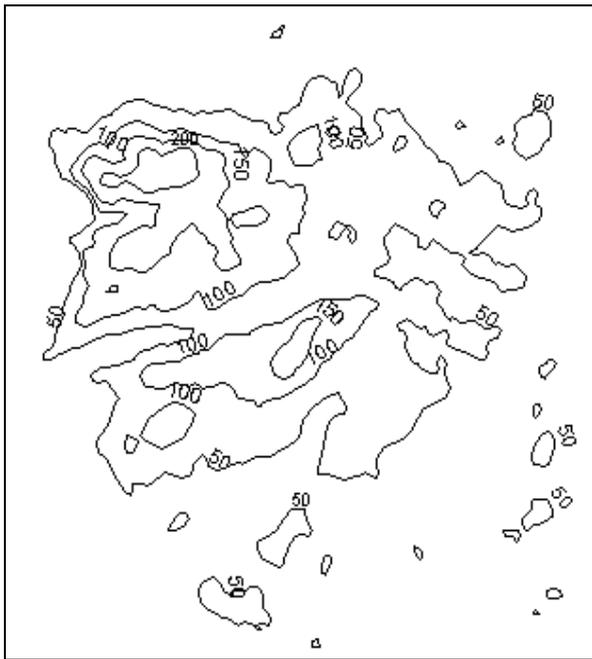
**Keywords:** contour map, earth's coordinate, convert, mesh polygon, three dimensions.

## PENDAHULUAN

Peta kontur adalah peta yang menggambarkan ketinggian permukaan bumi. Peta kontur dibuat dengan mengambil citra permukaan bumi dari pesawat udara atau satelit. Proses pencitraan akan menghasilkan sebuah gambar permukaan bumi dengan warna-warna yang menunjukkan ketinggian tiap permukaan bumi yang dicitrakan. Gambar berwarna tersebut kemudian diolah dengan memberi batas berupa *polyline* untuk tiap permukaan bumi yang memiliki ketinggian yang sama (memiliki warna yang sama). Tiap garis dalam *polyline* akan menggambarkan ketinggian permukaan bumi yang sama. Tiap *polyline* yang menggambarkan ketinggian permukaan bumi tertentu disebut sebagai kontur. Kumpulan dari kontur disebut sebagai peta kontur. Contoh peta kontur dapat dilihat pada gambar 1.

Umumnya, setiap kontur dalam sebuah peta kontur akan menggambarkan ketinggian permukaan bumi dengan kelipatan bilangan tertentu yang menunjukkan tingkat ketelitian peta kontur tersebut. Sebuah peta kontur yang memiliki tingkat ketelitian 50m akan memiliki kontur-kontur dengan ketinggian 50m, 100m, 150m, 200m, dan seterusnya. Peta kontur pada gambar 1 adalah peta kontur dengan tingkat ketelitian 50m.

Saat ini peta kontur pada umumnya diperoleh dan disimpan melalui pemrosesan digital menggunakan komputer (selanjutnya disebut peta kontur digital). Peta kontur digital kemudian dapat disajikan dalam bentuk tercetak di atas suatu media seperti kertas atau langsung di layar monitor komputer.



Gambar 1. Peta Kontur

Tiap peta kontur digital akan memiliki data mengenai kumpulan kontur (berupa *polyline*) dan koordinat bumi (*altitude*, *longitude*, dan *latitude*) tiap *vertex* penyusun kontur. Data peta kontur digital tersebut disimpan dalam berbagai *format* sesuai dengan *vendor* yang mengeluarkan perangkat lunak pengolah peta kontur digital. Selain memiliki *format* penyimpanan yang berbeda, tiap *vendor* sering kali menambahkan beberapa data peta kontur yang spesifik untuk mendukung fasilitas perangkat lunak pengolah peta kontur digital miliknya.

Sejumlah perangkat lunak pengolah peta kontur digital telah menyimpan data *mesh polygon* tiga dimensi dari peta kontur. Proses visualisasi peta kontur dalam sudut pandang tiga dimensi berdasarkan data *mesh polygon* peta kontur merupakan proses yang mudah dilakukan. Permasalahan yang ingin dipecahkan dalam penelitian ini adalah bagaimana melakukan visualisasi peta kontur dalam sudut pandang tiga dimensi hanya berdasarkan pada data kumpulan kontur dan koordinat bumi tiap *vertex* penyusun kontur.

**TINJAUAN PUSTAKA**

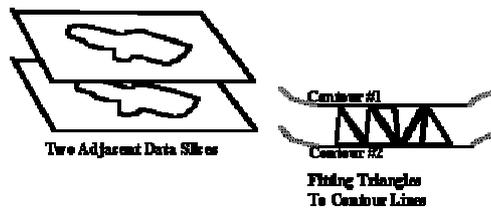
Penulis telah menemukan dan meneliti dua metode yang dikembangkan untuk menampilkan peta kontur dalam sudut pandang tiga dimensi. Dua metode tersebut adalah *Contour Connecting* dan *Hill-Shading*. Tinjauan pustaka ini akan menjelaskan cara kerja dua metode tersebut.

**Contour Connecting**

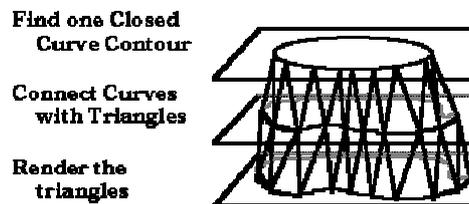
*Contour connecting* merupakan sebuah metode *surface fitting* berdasarkan urutan objek [3]. Cara kerja metode *Contour Connecting* dengan menghubungkan dua buah pasangan kontur yang berdekatan. Ilustrasi proses menghubungkan dua kontur dapat dilihat pada gambar 2. Algoritma metode *Contour Connecting* adalah sebagai berikut :

1. Tentukan pasangan terdekat dari tiap kontur yang ada.
2. Untuk tiap kontur, telusuri tiap sisi yang terdapat kontur.
3. Untuk tiap sisi yang terdapat pada sebuah kontur, cari *vertex* pada kontur pasangan yang terdekat dengan sisi saat ini. Langkah ini akan menghubungkan kontur yang berdekatan dengan suatu kumpulan poligon segitiga.

**Connecting Slices**

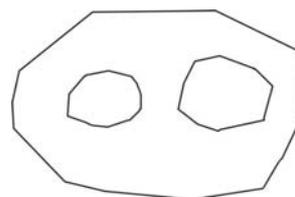


**Connecting Slices (cont.)**



Gambar 2. Proses Menghubungkan Dua Buah Kontur [3]

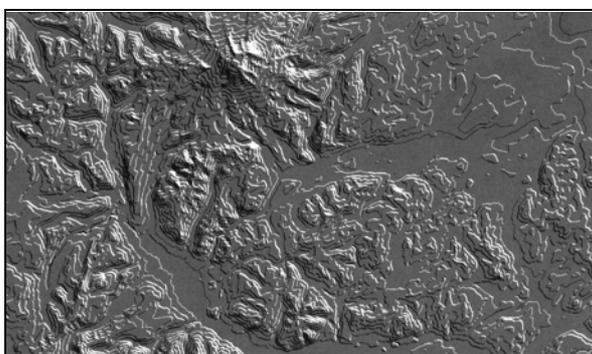
Kelemahan yang menyebabkan penulis tidak menggunakan metode *Contour connecting* adalah metode ini hanya dapat digunakan jika di dalam tiap kontur hanya terdapat sebuah kontur lain. Gambar 3 menunjukkan sebuah contoh kondisi kontur yang tidak dapat ditangani menggunakan metode *Contour Connecting*.



Gambar 3. Contoh Kontur yang Memiliki Dua Buah Kontur di dalamnya

### Hill-Shading [2]

*Hill-Shading* merepresentasikan sebuah daerah dengan sejumlah variasi warna yang dapat menimbulkan efek tiga dimensi [2]. Cara kerja metode *Hill-Shading* adalah dengan memberi warna hitam atau putih pada tepi tiap kontur. Warna tiap sisi pada suatu kontur ditentukan berdasarkan vektor arah sinar, vektor dari sebuah *vertex* pada sisi kontur ke arah sumber cahaya, dan sudut normal sisi kontur. Jika sisi kontur menghadap sumber cahaya, selisih vektor arah sinar dan vektor normal sisi  $< 90^\circ$ , maka sisi tersebut akan diberi warna putih. Jika sisi kontur membelakangi sumber cahaya, selisih vektor arah sinar dan vektor normal sisi  $\geq 90^\circ$ , maka tersebut akan diberi warna hitam. Contoh peta kontur yang dihasilkan oleh metode *Hill-Shading* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Peta Kontur dengan Metode *Hill-Shading*

Kelompokan yang menyebabkan penulis tidak menggunakan metode *Hill-Shading* adalah gambar yang dihasilkan tetap merupakan gambar dua dimensi meskipun tampak seperti gambar tiga dimensi. Sehingga pengamatan terhadap kontur bumi hanya dapat dilakukan dari atas, tegak lurus, dengan permukaan bumi.

### DESAIN ALGORITMA

Untuk menghindari masalah yang dimiliki oleh metode *Contour Connecting* dan *Hill Shading*, penulis membuat sebuah algoritma baru untuk menampilkan peta kontur dalam sudut pandang tiga dimensi. Algoritma yang dirancang untuk menampilkan kontur bumi dalam sudut pandang tiga dimensi dapat dibagi menjadi dua bagian utama. Bagian pertama adalah algoritma pembentukan *mesh polygon* dan bagian kedua adalah algoritma penentuan warna. Algoritma pembentukan *mesh polygon* digunakan untuk membentuk kerangka kontur bumi tiga dimensi. Algoritma penentuan warna digunakan untuk menentukan warna kerangka kontur bumi berdasarkan ketinggian kontur bumi.

### Pembentukan *Mesh Polygon*

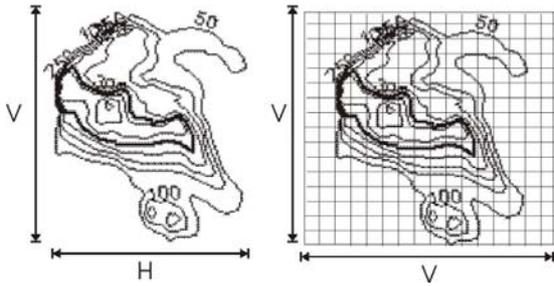
Pada umumnya, objek tiga dimensi tersusun atas sejumlah *mesh polygon*. *Mesh polygon* adalah kumpulan poligon yang membentuk suatu objek. Poligon yang dapat digunakan sebagai komponen penyusun objek tiga dimensi adalah poligon yang bersifat *convex*. Untuk dapat melakukan visualisasi peta kontur dalam sudut pandang tiga dimensi, permasalahan utama yang harus diselesaikan adalah melakukan konversi kumpulan data koordinat bumi tiap *vertex* penyusun kontur menjadi data *mesh polygon*. Beberapa karakter peta kontur yang menyulitkan proses pembentukan *mesh polygon* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Kontur dapat bersifat konvex atau konkaf
- Kontur dapat bersifat *close* atau *open-circuit*
- Dalam sebuah kontur bisa terdapat lebih dari satu kontur yang lebih kecil
- Jumlah *vertex* tiap kontur tidak beraturan
- Tidak ada data mengenai posisi tiap kontur terhadap kontur lainnya

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, proses pembentukan *mesh polygon* dilakukan dengan menggunakan bantuan jaringan *poligon* bujur sangkar yang tersusun atas poligon-poligon bujur sangkar yang lebih kecil. Jaringan poligon bujur sangkar ini yang akan menjadi objek 3 dimensi yang men-visualisasikan peta kontur.

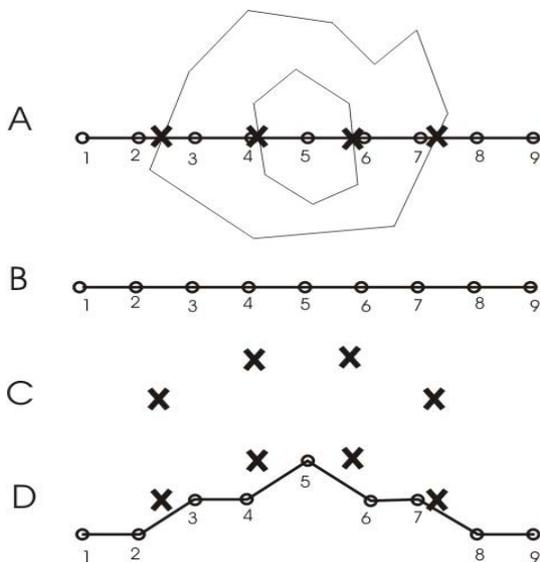
Jaringan poligon bujur sangkar diatur memiliki titik pusat yang sama dengan titik pusat peta kontur. Panjang sisi jaringan poligon diatur sama dengan selisih terbesar antara batas kiri dan batas kanan peta kontur atau antara batas atas dan batas bawah peta kontur. Pada kondisi awal tiap *vertex* pada jaringan poligon bujur sangkar diatur memiliki ketinggian 0 m (pada permukaan laut). Jumlah bujur sangkar penyusun jaringan poligon bujur sangkar menentukan tingkat kehalusan kontur yang akan dihasilkan. Semakin banyak jumlah bujur sangkar yang digunakan, semakin halus kontur yang akan dihasilkan. Hal yang perlu diingat adalah semakin banyak jumlah bujur sangkar akan semakin memperlama proses pembuatan *mesh polygon*. Gambar 5 menunjukkan proses pembentukan jaringan poligon bujur sangkar.

Setelah jaringan poligon bujur sangkar awal terbentuk, proses dilanjutkan dengan proses menaikkan ketinggian tiap *vertex* pada jaringan poligon bujur sangkar sesuai dengan ketinggian kontur yang berada di lokasi *latitude* dan *longitude* yang sama. Proses ini dilakukan dengan cara mencari titik tabrak untuk setiap *vertex* pada setiap baris *vertex* yang terdapat pada poligon bujur sangkar. Proses pencarian titik tabrak dilakukan dengan mengabaikan ketinggian kontur.



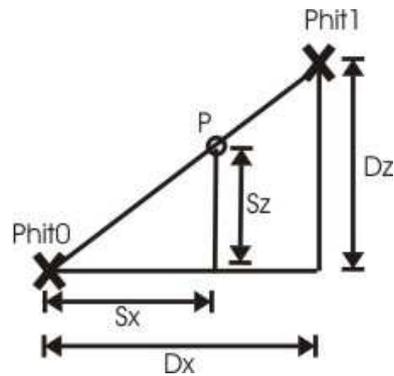
**Gambar 5. Gambar Kiri Menunjukkan Peta Kontur yang akan Divisualisasi dalam 3 Dimensi. Gambar Kanan Menunjukkan Kondisi Awal Jaringan Poligon Bujur Sangkar**

Setiap kali terjadi tabrakan antara baris *vertex* dengan suatu kontur akan diperiksa ketinggian titik tabrak baru dengan titik tabrak sebelumnya. Jika merupakan titik tabrak pertama atau titik tabrak baru lebih tinggi dari titik tabrak sebelumnya, maka ketinggian tiap *vertex* setelah titik tabrak akan dinaikkan sesuai dengan ketinggian titik tabrak yang baru. Apabila ketinggian titik tabrak baru sama dengan ketinggian titik tabrak sebelumnya (titik tabrak lama) maka tiap *vertex* setelah titik tabrak tersebut akan diturunkan sesuai dengan ketinggian sebelum titik tabrak lama. Gambar 6 menunjukkan tahapan proses penyesuaian ketinggian jaringan-jaringan poligon bujur sangkar.



**Gambar 6. (A) Peta kontur dan sebuah baris *vertex* pada jaringan poligon bujur-sangkar beserta titik tabrak terhadap kontur tampak atas. (B) Baris *vertex* awal pada jaringan poligon bujur sangkar tampak samping. (C) Titik tabrak pada kontur tampak samping. (D) Baris *vertex* yang dinaikkan berdasarkan titik tabrak**

Untuk memperhalus visualisasi 3 dimensi yang dihasilkan, ketinggian *vertex* tidak dapat langsung disamakan dengan ketinggian titik tabrak yang terakhir ditabrak melainkan harus disamakan dengan ketinggian antara titik tabrak terakhir dan titik tabrak selanjutnya berdasarkan jarak antara *vertex* poligon bujur sangkar dengan titik tabrak terakhir dan titik tabrak selanjutnya. Dengan membandingkan posisi dari dua buah titik tabrak dan sebuah *vertex* poligon bujur sangkar seperti tampak pada gambar 7, maka ketinggian *vertex* poligon bujur sangkar dapat diperoleh dengan rumus berikut.



**Gambar 7. Posisi Sebuah Vertex P Diantara Dua Titik Tabrak Phit 0 dan Phit 1**

$$Dz = Phit1_{(z)} - Phit0_{(z)} \tag{1}$$

$$Dx = Phit1_{(x)} - Phit0_{(x)} \tag{2}$$

$$Sz = P_{(z)} - Phit0_{(z)} \tag{3}$$

$$Sx = P_{(x)} - Phit0_{(x)} \tag{4}$$

Menggunakan sifat segitiga, didapat rumus  $Sz = (Dz * Sx) / Dx$  (5)

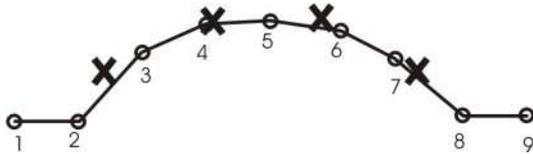
Sehingga didapat rumus  $P_{(z)} = Phit0_{(z)} + (Dz * Sx) / Dx$  (6)

Keterangan:

- $P$  = *vertex* yang hendak dicari ketinggiannya.
- $Phit0$  = titik pada kontur yang ditabrak oleh baris *vertex* sebelum lokasi P
- $Phit1$  = titik pada kontur yang ditabrak oleh baris *vertex* setelah lokasi P
- $P, Phit0, Phit1$  merupakan variabel koordinat sehingga memiliki komponen data x (mewakili *longitude*), y (mewakili *latitude*), dan z (mewakili *altitude*).

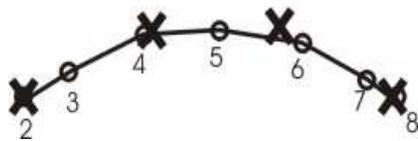
Setelah melakukan penyesuaian ketinggian *vertex* poligon bujur sangkar berdasarkan ketinggian titik tabrak yang mengapitnya, jaringan poligon akan menghasilkan hasil yang lebih halus. Hasil yang lebih halus yang dimaksud adalah perubahan ketinggian

kontur dapat digambarkan secara bertahap. Hal tersebut dapat terjadi karena perubahan ketinggian *vertex* tidak hanya dilakukan pada *vertex* yang berada tepat setelah titik tabrak, melainkan pada setiap *vertex* yang berada di antara titik tabrak. Gambar 8 menunjukkan hasil baris *vertex* yang telah dinaikkan berdasarkan ketinggian titik tabrak yang mengapitnya.



**Gambar 8. Baris *Vertex* yang Dinaikkan Berdasarkan Ketinggian antara Titik Tabrak Pengapitnya**

Agar tepian peta kontur tidak tampak kotak-kotak, maka *vertex* terakhir sebelum titik tabrak tepian dan *vertex* pertama setelah titik tabrak tepian harus digeser ke lokasi titik tabrak tepian. Hasil akhir dari pemrosesan sebuah baris *vertex* dapat dilihat pada gambar 9.



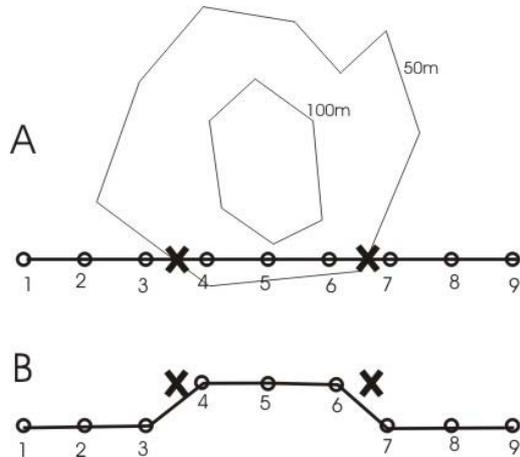
**Gambar 9. Hasil Akhir Sebuah Baris *Vertex***

Setelah menaikkan ketinggian tiap baris *vertex* yang ada pada jaringan poligon bujur sangkar, peta kontur sudah tampak tiga dimensi namun masih terkesan kasar. Kesan kasar yang muncul disebabkan karena ada baris *vertex* yang tidak menabrak kontur yang berada di atas atau di bawah baris *vertex* tersebut. Ilustrasi permasalahan tersebut dapat dilihat pada gambar 10. Pada gambar 10, *vertex* nomor 4, 5 dan 7 seharusnya memiliki ketinggian antara 50 meter sampai dengan 100 meter. Namun karena baris *vertex* tidak menabrak kontur dengan ketinggian 100 meter, maka *vertex* 4, 5 dan 6 akan tergambar dengan ketinggian 50 meter.

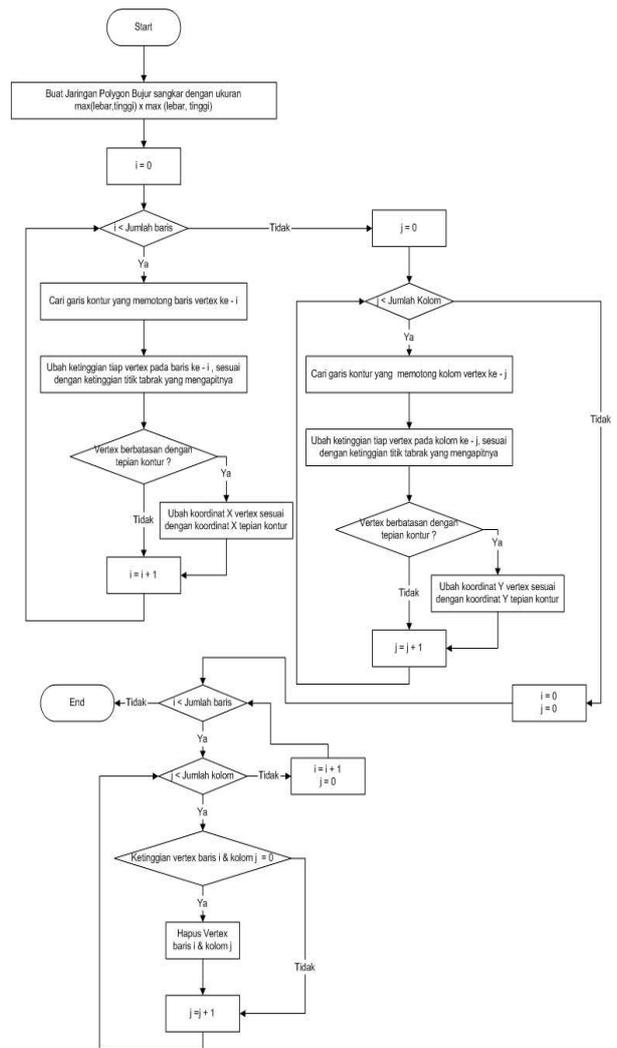
Untuk mengatasi permasalahan tersebut, ketinggian tiap *vertex* pada jaringan poligon bujur sangkar harus dilakukan untuk tiap baris dan untuk tiap kolom yang ada. Hasil ketinggian yang didapat dari proses berdasarkan kolom akan dibandingkan dengan hasil yang didapat dari proses berdasarkan baris, hasil ketinggian yang tertinggi yang akan digunakan sebagai ketinggian *vertex*.

Setelah melakukan proses menaikkan ketinggian *vertex* pada jaringan poligon bujur sangkar secara kolom dan baris, apabila terdapat *vertex-vertex* yang masih menempel di permukaan laut (ketinggian = 0 m) maka harus *vertex-vertex* tersebut harus dihilang-

kan karena *vertex-vertex* tersebut bukan merupakan bagian dari peta kontur. *Flowchart* pembentukan *mesh polygon* dapat dilihat pada gambar 11.



**Gambar 10. Permasalahan dengan Penaikan Baris *Vertex* Hanya Berdasarkan Baris**

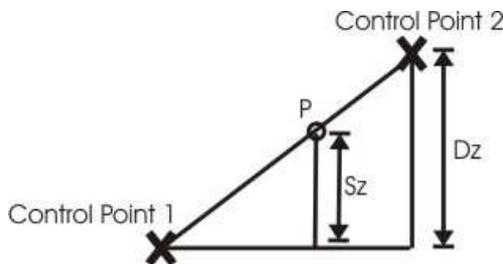


**Gambar 11. Flow Chart Pembentukan *Mesh Polygon***

**Penentuan Warna**

Untuk mempermudah perkiraan ketinggian permukaan bumi yang digambarkan pada peta kontur, peta kontur biasanya disajikan berwarna-warni (tidak hitam putih) sesuai dengan ketinggian kontur. Peta kontur berwarna menetapkan sejumlah ketinggian permukaan bumi sebagai acuan penentuan warna peta kontur, misalnya ketinggian 0 meter akan diberi warna hijau, ketinggian 1000 meter akan diberi warna kuning, ketinggian 2000 meter akan diberi warna merah, dan sebagainya. Menggunakan aturan tersebut, permukaan bumi yang berada di ketinggian 1000 meter akan tampak berwarna kuning. Permukaan bumi yang berada di antara dua acuan ketinggian akan memiliki warna campuran antara kedua warna pada acuan ketinggian yang mengapitnya. Sehingga peta kontur akan menampilkan warna-warna gradasi dalam batasan warna tiap acuan ketinggian yang ditentukan.

Penentuan warna untuk tiap kontur pada ketinggian permukaan bumi dapat dilakukan dengan menggunakan metode interpolasi linear antara kedua warna ketinggian acuan yang mengapit kontur permukaan tersebut. Ilustrasi posisi dua buah *control point* dan posisi sebuah *vertex* tampak pada gambar 12. Warna untuk tiap kontur dapat ditentukan menggunakan rumus berikut.



**Gambar 12. Posisi Vertex P Diantara Dua Titik Acuan Warna**

$$C = A * (1-t) + B * t \dots\dots\dots \text{Persamaan (7) [1]}$$

di mana :

$$t = Sz - Dz \dots\dots\dots (8)$$

$$Dz = Phit1_{(z)} - Phit0_{(z)} \dots\dots\dots (9)$$

$$Sz = P_{(z)} - Phit0_{(z)} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

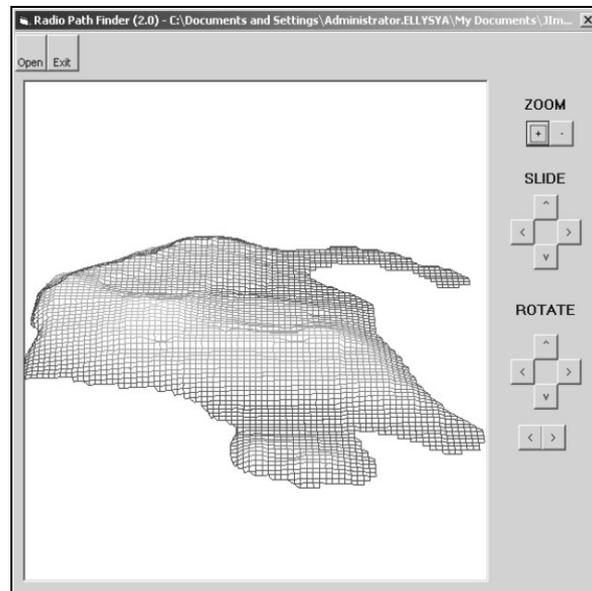
- P* = *Vertex* pada kontur yang ingin dicari warnanya
- Control Point1 (CPI)* = Titik acuan warna ketinggian sebelum ketinggian *P*
- Control Point2 (CP2)* = Titik acuan warna ketinggian setelah ketinggian *P*
- P, CPI, dan CP2* merupakan variabel koordinat dan warna RGB sehingga memiliki komponen data koordinat (*x, y, z*) dan data warna (merah, hijau biru)
- C* = Warna ketinggian permukaan bumi yang dicari
- A* = Warna *Control Point 1*

*B* = Warna *Control Point 2*

*A, B, dan C* merupakan variabel warna RGB sehingga memiliki komponen data warna merah, hijau dan biru.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Penelitian ini diimplementasikan menggunakan Microsoft Visual Basic 6.0 dan untuk menampilkan gambar digunakan *library OpenGL*. Data peta kontur diambil dari data peta kontur digital yang disimpan dalam *polish format (.mp)*. Gambar 13 menunjukkan tampilan aplikasi yang digunakan untuk menampilkan peta kontur dalam sudut pandang tiga dimensi. Aplikasi yang dibuat pada penelitian ini menyajikan peta kontur secara tiga dimensi dalam bentuk *wire object*.



**Gambar 13. Tampilan Aplikasi untuk Melakukan Visualisasi Peta Kontur dalam Sudut Pandang Tiga Dimensi**

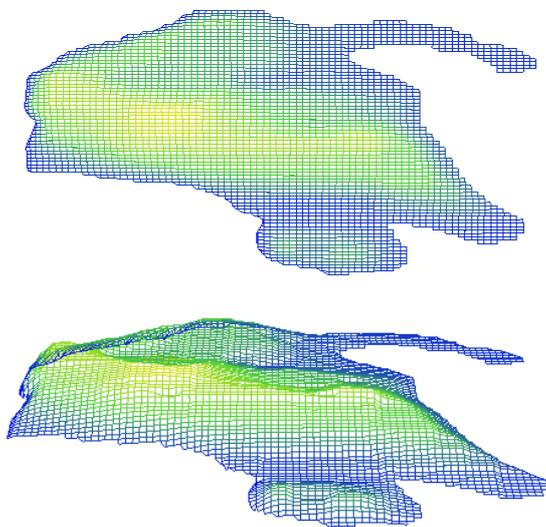
Sejumlah uji coba telah dilakukan terhadap aplikasi yang dihasilkan. Uji coba dilakukan untuk mengetahui apakah algoritma yang telah didesain berhasil menampilkan peta kontur dalam sudut pandang tiga dimensi dan apabila berhasil, bentuk poligon apa yang tepat untuk digunakan serta pengaruh ukuran poligon bujur sangkar dan jumlah garis kontur.

Uji coba dilakukan dengan menggunakan peta kontur yang sama dengan peta kontur pada gambar 5 dan menggunakan 4 buah titik ketinggian sebagai acuan warna yaitu ketinggian 0m berwarna biru, 200m berwarna hijau, 400m berwarna kuning, dan 600m berwarna merah. Uji coba dilakukan menggunakan komputer dengan spesifikasi berikut:

*Processor: AMD Athlon 1600*

Memory : 128 Mb  
 VGA : Riva TNT2 32 Mb.

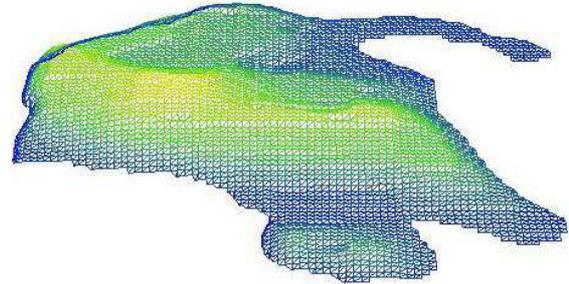
Untuk mengetahui apakah algoritma yang telah didesain berhasil menampilkan peta kontur dalam sudut pandang tiga dimensi, sejumlah fasilitas untuk mengamati objek dalam dunia tiga dimensi telah ditambahkan. Fasilitas tersebut adalah *Zoom*, *Slide* dan *Rotate*. Gambar 14 kiri menunjukkan peta kontur diamati dari atas koordinat pusat peta kontur. Gambar 14 kanan menunjukkan peta kontur yang diamati dari sudut diagonal atas. Gambar 14 kanan menunjukkan bahwa peta kontur telah berhasil ditampilkan sebagai sebuah objek tiga dimensi.



**Gambar 14. Gambar Atas Adalah Peta Kontur Tiga Dimensi Dilihat dari Atas. Gambar Bawah Adalah Peta Kontur Tiga Dimensi Dilihat dari Sudut Diagonal Atas**

Jaringan poligon segiempat yang digunakan untuk menampilkan kontur bumi secara tiga dimensi dapat ditampilkan sebagai jaringan poligon segitiga. Uji coba telah dilakukan untuk membandingkan gambar kontur bumi tiga dimensi menggunakan poligon segitiga dan poligon segiempat. Gambar peta kontur tiga dimensi yang menggunakan poligon segiempat dapat dilihat pada gambar 14 kanan dan yang menggunakan poligon segitiga dapat dilihat pada gambar 15. Waktu yang dibutuhkan untuk menampilkan gambar 14 kanan adalah 2.2 detik dan gambar 15 adalah 2.9 detik. Garis horizontal dan vertikal pada kedua gambar mewakili garis lintang dan garis bujur pada kontur bumi. Gambar yang dihasilkan menggunakan poligon segitiga memiliki tambahan garis yang menghubungkan sudut diagonal poligon segiempat. Garis tambahan tersebut tidak mewakili apapun dan dapat mengganggu pengamatan kontur

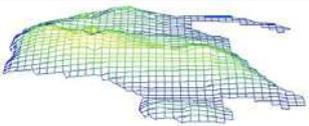
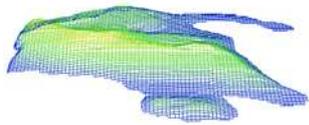
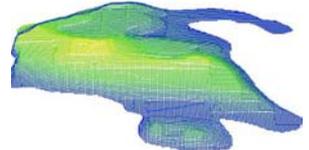
bumi. Karena garis tambahan tidak dapat memberikan manfaat dan membutuhkan waktu lebih lama, maka aplikasi dibuat untuk menampilkan peta kontur tiga dimensi dengan menggunakan poligon segiempat.



**Gambar 15. Peta Kontur Bumi Tiga Dimensi Menggunakan Poligon Segitiga**

Untuk mengetahui pengaruh ukuran poligon bujur sangkar terhadap kecepatan dan kualitas gambar yang dihasilkan, sebuah uji coba telah dilakukan menggunakan 3 ukuran poligon yang berbeda. Hasil uji coba dapat dilihat pada tabel 1. Hasil uji coba menunjukkan bahwa semakin banyak poligon yang digunakan maka peta kontur tiga dimensi yang dihasilkan akan semakin akurat dan detail namun waktu yang dibutuhkan akan semakin lama. Peningkatan akurasi dan detail tersebut terjadi karena semakin banyak poligon yang digunakan akan menyebabkan ukuran poligon menjadi semakin kecil dan kontur bumi akan divisualisasikan oleh semakin banyak poligon.

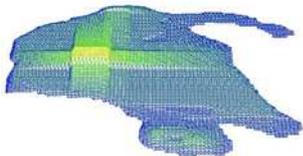
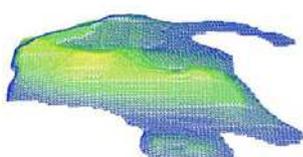
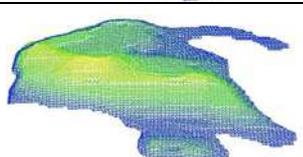
**Tabel 1. Hasil uji coba pengaruh ukuran poligon bujur sangkar**

	Ukuran Poligon: 40 x 40 buah Waktu: 1 detik
	Ukuran Poligon: 80 x 80 buah Waktu: 2.2 detik
	Ukuran Poligon: 150 x 150 buah Waktu: 4.6 detik

Uji coba ketiga dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah garis kontur terhadap kecepatan proses pembuatan peta kontur tiga dimensi. Uji coba dilakukan dengan menggunakan tiga buah data peta kontur yang memiliki jumlah garis kontur yang berbeda. Hasil uji coba dapat dilihat pada tabel 2.

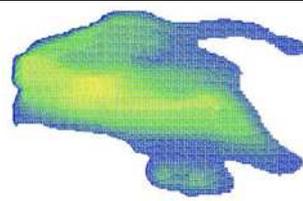
Hasil uji coba menunjukkan bahwa semakin banyak garis kontur akan membuat proses pembuatan peta kontur tiga dimensi semakin lama.

**Tabel 2. Hasil uji coba pengaruh jumlah garis kontur**

	Jumlah Kontur: 9 Jumlah Garis Kontur: 232 Ukuran Poligon: 80 x 80 buah Waktu: 1.5 detik
	Jumlah Kontur: 11 Jumlah Garis Kontur: 331 Ukuran Poligon: 80 x 80 buah Waktu: 1.6 detik
	Jumlah Kontur: 12 Jumlah Garis Kontur: 386 Ukuran Poligon: 80 x 80 buah Waktu: 1.7 detik

Sebuah uji coba telah dilakukan untuk mengetahui pengaruh persentase luas daratan terhadap luas lautan pada kecepatan proses pembuatan peta kontur tiga dimensi. Uji coba dilakukan menggunakan dua buah peta kontur yang memiliki jumlah garis kontur yang hampir sama namun memiliki persentase daratan yang jauh berbeda. Hasil uji coba dapat dilihat pada tabel 3. Hasil uji coba menunjukkan bahwa persentase luas daratan terhadap luas lautan yang semakin kecil akan semakin mempercepat proses pembuatan peta kontur tiga dimensi. Proses yang semakin cepat tersebut terjadi karena semakin banyak luas lautan yang ada maka semakin banyak pula jumlah poligon yang dapat diabaikan (tidak perlu diperhitungkan ketinggiannya).

**Tabel 3. Hasil uji coba pengaruh persentase luas daratan terhadap luas lautan**

	Jumlah Kontur: 12 Jumlah Garis Kontur: 386 Ukuran Poligon: 150 x 150 buah Waktu: 2.25 detik
	Jumlah Kontur: 13 Jumlah Garis Kontur: 397 Ukuran Poligon: 150 x 150 buah Waktu: 0.83 detik

## KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian ini, diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Algoritma yang dibuat pada penelitian ini telah berhasil menampilkan peta kontur dalam sudut pandang tiga dimensi.
- Akurasi dan tingkat detail peta kontur tiga dimensi dipengaruhi oleh ukuran poligon bujur sangkar yang digunakan.
- Kecepatan proses pembuatan peta kontur tiga dimensi dipengaruhi oleh banyaknya kontur yang dimiliki oleh peta kontur tiga dimensi, ukuran poligon bujur sangkar yang digunakan dan persentase luas daratan terhadap luas lautan.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Hill, F.S. Jr., *Computer Graphics Using Open GL*, Edisi Kedua, Prentice Hall, 2001
2. Kennerly, P.J, Kimerling, A.J, *Hill-Shading Alternatives, New Tools Produce Classic Cartographic Effects*, ArcUser, 2001.
3. Owen, G.S, *Surface Fitting Algorithm*, <http://www.siggraph.org/education/materials/HyperVis/vistech/volume/surface.htm>, 1999.