

PENGEMBANGAN APLIKASI PERHITUNGAN VOLUME TANAH BERDASARKAN PETA KONTUR

Dwi Rosnarti¹⁾, Agus Budi Purnomo^{2)*}

^{1,2)}Program Studi Arsitektur, Universitas Trisakti

^{*}*Corresponding Author:* agusbudi@dnet.net.id

Diterima: Maret 2023

Revisi: Maret 2023

Disetujui : Maret 2023

Terbit: April 2023

ABSTRAK

Perancangan tapak hendaknya mempunyai volume galian dan urugan tanah yang seimbang. Tujuan paper ini adalah untuk menerangkan aplikasi perhitungan volume tanah berdasarkan peta kontur.. Aplikasi membagi tapak menjadi grid atau sel. Volume tanah pada tiap grid dihitung dengan mengalikan elevasi titik grid dengan luas unit grid atau sel. Elevasi titik grid diperkirakan dari titik-titik kontur menggunakan teknik IDW (Inverse Distance Weighting). Dengan menggunakan bentuk-bentuk permukaan yang volumenya dapat hitung secara geometris (2178 kasus), diketahui bahwa rata-rata Average Percentage Error (APE) volume yang diperkirakan adalah 2.9% dari volume tanah yang sebenarnya. Nilai tersebut masih lebih kecil dari pada yang diperbolehkan bagi perhitungan volume tanah yang standar. Dapat disimpulkan bahwa aplikasi yang ada dalam paper ini cukup presisi untuk menghitung volume tanah pada suatu tapak.

Kata Kunci : *Tapak, Volume Tanah, Peta Kontur, Grid, IDW.*

I. PENDAHULUAN:

Analisa tapak adalah langkah pertama untuk merancang bangunan. Pemahaman tentang tapak memungkinkan perancang untuk mengoptimalkan dan memperkirakan aspek-aspek tapak yang berpengaruh terhadap bangunan (Khadeghat, 2022). Tapak juga dapat dianggap sebagai sumber ide desain (Çizgen, 2012). Salah satu aspek tapak adalah bentuk permukaan tapak (topografi) yang digambarkan sebagai peta kontur (Anderson, 2019). Garis-garis dalam peta kontur disebut garis kontur. Tiap garis kontur mewakili suatu elevasi permukaan lahan tertentu. Garis kontur adalah tempat kedudukan titik-titik yang mempunyai elevasi yang sama.

Setiap rancangan di dalam tapak akan merubah topografi tapak yang berarti juga merubah kontur. Desain tapak yang baik sedikit mungkin mengubah permukaan bumi (topografi). Mengubah topografi tapak sebaiknya dilakukan secara seimbang antara volume galian dengan urugan (Ziegler et al., 2012). Salah satu indikator topografi adalah perubahan volume tanah atau *cut and fill*. Arsitek memerlukan alat untuk menghitung volume tanah berdasarkan peta kontur yang tak perlu terlalu akurat, tapi mudah dipakai, sehingga penggunaan alat tersebut tidak mengganggu alur kreatif arsitek.

1.1. Tujuan Penelitian :

Tujuan penelitian adalah mengembangkan sebuah aplikasi untuk menghitung volume tanah berdasarkan peta kontur.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Ada beberapa teknik untuk menghitung volume tanah berdasarkan peta kontur. Teknik-teknik tersebut dibedakan menjadi dua hal sebagai berikut: a. Cara pembagian lahan menjadi unit-unit kecil yg mudah dihitung volumenya. b. Cara perkiraan elevasi titik-titik tiap unit kecil dari garis kontur. Pembagian lahan menjadi unit-unit kecil untuk perhitungan volume tanah bisa dibedakan menjadi: a) pembagian berdasarkan TIN atau *Triangular Irregular Network* (ESRI, 2021), b) berdasarkan potongan lahan, c) berdasarkan grid. Cara a) dan b) membutuhkan pertimbangan ahli dalam mendistribusikan titik-titik perkiraan elevasi, sehingga sulit dilakukan bila tidak mempunyai informasi tentang letak titik data yang optimum. Cara c) membagi tapak menjadi grid segi empat. Tiap grid dianggap sebagai sebuah unit kecil. Setiap titik dari sebuah unit kecil atau sel adalah sebuah titik grid. Jadi penentuan titik perkiraan cara c) lebih sederhana daripada cara a) atau b).

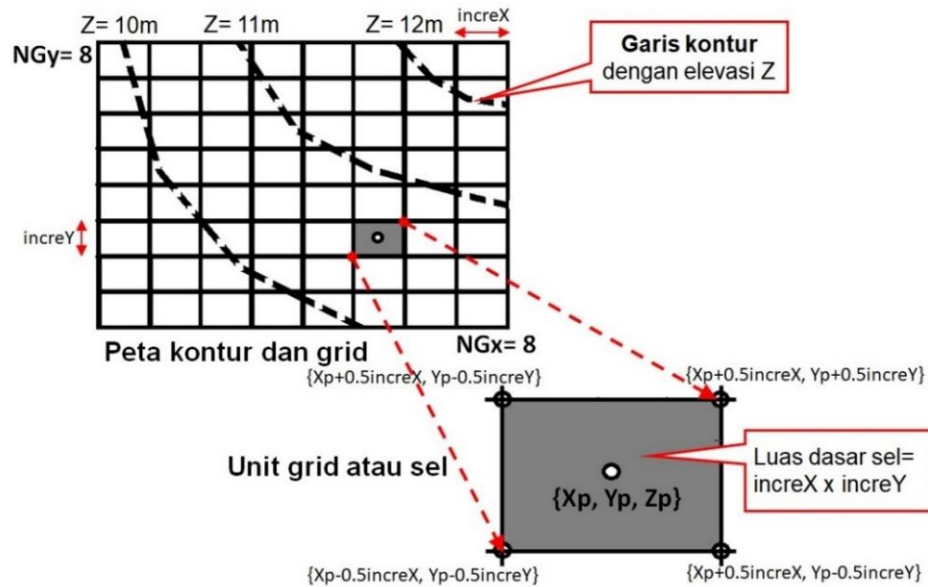
Setelah titik-titik perkiraan ditentukan, berikut ialah memperkirakan elevasi tiap titik tersebut berdasarkan garis-garis kontur. Berikut ini beberapa teknik untuk memperkirakan elevasi sebuah titik berdasarkan garis-garis kontur sebagai berikut: a) Interpolasi polinomial (IP), b) *Kriging*, c) *Inverse Distance Weighting* atau IDW (GeoPatech, 2023). Teknik a) membutuhkan pengetahuan tentang fungsi polinomial yang cocok dengan koordinat titik-titik data. Teknik b) membutuhkan informasi tentang kecenderungan yang ada pada permukaan tapak. Teknik c), lebih mudah karena untuk memperkirakan elevasi titik grid hanya membutuhkan elevasi dan jarak titik-titik data relatif terhadap titik grid.

Dari literatur (Wu et. al, 2016) diketahui bahwa dua teknik pertama menghasilkan perkiraan elevasi titik yang lebih akurat dari pada teknik IDW. Tapi teknik IDW lebih sederhana dalam memperkirakan elevasi sebuah titik grid dari pada teknik lainnya (Arabinda et al, 2019; Yasrebi, 2009; Tomislav, et al., 2020). Teknik IDW cukup akurat untuk memperkirakan volume tanah pada tahap awal perancangan. Berdasarkan pertimbangan di atas, aplikasi perkiraan volume tanah berdasarkan peta kontur dalam paper ini, dikembangkan menggunakan teknik grid dan IDW.

III. METODE

3.1 Aplikasi Perkiraan Volume

Tapak bisa dibagi menjadi bagian-bagian kecil atau sel yang berbentuk grid (Deng, et al., 2021). Tiap sel grid mempunyai empat sisi yang terdiri atas dua pasang sisi sejajar. Satu pasangan sisi sejajar sel atau grid tegak lurus terhadap pasangan sisi sejajar lainnya. Tiap grid mempunyai titik sentroid yang dianggap sebagai titik grid (Gambar 1).

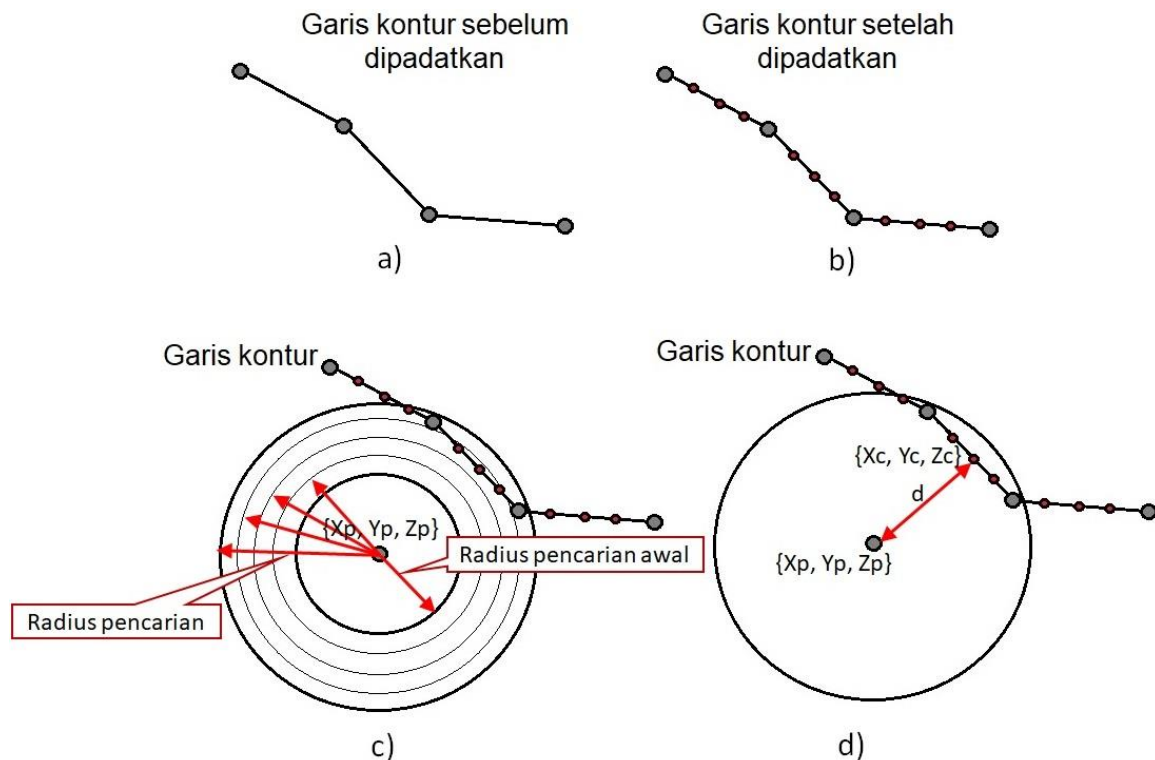


Gambar 1. Tapak Yang Dibagi Menjadi Sel-Sel Grid.

Teknik IDW menggunakan jarak antara titik grid dengan titik yg telah diketahui elevasinya (titik data). Pengaruh elevasi titik data terhadap elevasi titik grid berbanding terbalik dengan jarak antara kedua titik tersebut. Makin dekat titik data terhadap titik grid, makin besar pengaruh elevasi titik data tersebut terhadap elevasi titik grid. Makin jauh jarak antara titik grid dengan titik data, makin kecil pengaruh titik data pada elevasi titik grid (Wu et al., 2016). Pers. 1 adalah rumus untuk menghitung elevasi titik grid menggunakan teknik IDW (GISGeography, 2022).

$$Z_p = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{Z_{c_i}}{d_i} \right)}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{d_i} \right)} \quad [1]$$

Dengan Z_p = elevasi titik grid, Z_c = elevasi titik data dari titik kontur, N = jumlah titik data dalam radius pencarian. Titik-titik pada sebuah garis kontur memiliki elevasi yang sama (GISGeography, 2022), sehingga semua titik berkedudukan di sebuah garis kontur diketahui elevasinya dan dianggap sebagai elevasi titik data (Z_c). Titik data yang dianggap relevan untuk perhitungan elevasi titik grid (Z_p) adalah yang ada dalam suatu radius pencarian (Gambar 2) dari titik grid. Radius pencarian awal ditetapkan sama dengan jarak minimum tertentu, misalnya panjang sisi terkecil sel grid. Bila dalam radius tersebut, tidak terdapat titik data (Z_c), dengan peningkatan tertentu, radius pencarian diperbaharui hingga ditemukan sejumlah titik data dalam radius pencarian. Dalam paper ini, minimum $N \geq 6$ titik data untuk menghitung elevasi titik grid (Maleika, 2020).



Gambar 2. Titik Estimasi (Z_p), Titik Data (Z_c), Garis Kontur Dan Radius Pencarian.

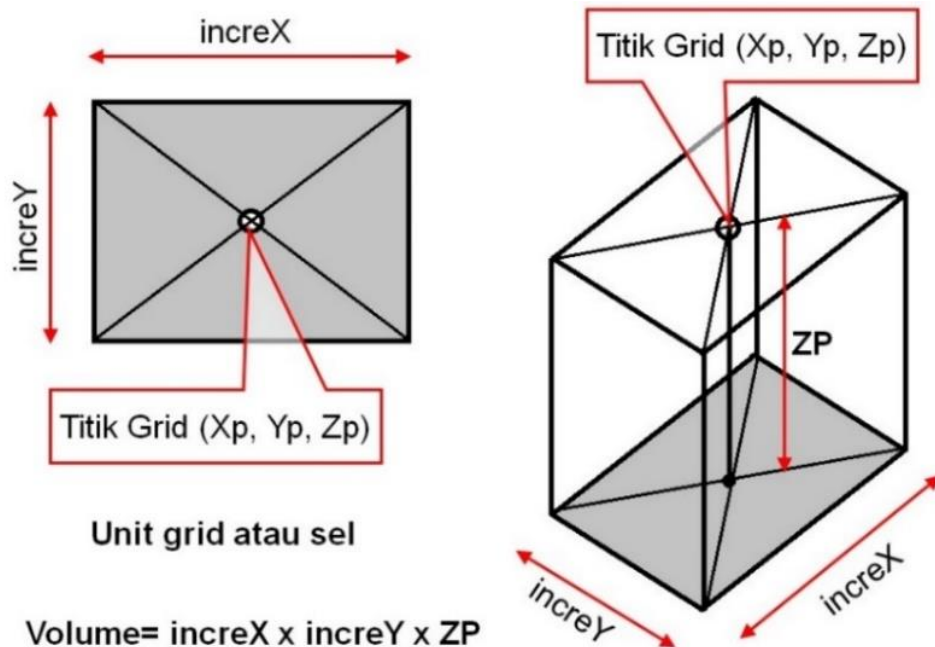
3.2 Algorithma Aplikasi

Algorithma aplikasi perhitungan volume tanah berdasarkan peta kontur terdiri atas beberapa langkah sebagai berikut:

1. Input utama bagi aplikasi perhitungan volume adalah peta kontur.
2. Garis kontur adalah himpunan beberapa segmen garis. Padatkan garis kontur dengan menambah titik di dalam setiap segmen garis kontur (lihat Gambar 2).
3. Bentuk bingkai peta berdasarkan titik (X_{min} , Y_{min}) dan titik (X_{max} , Y_{max}). X_{min} dan X_{max} masing-masing adalah ordinat titik kontur paling kiri dan kanan. Y_{min} dan Y_{max} adalah absisa titik kontur yang paling bawah dan atas. Aplikasi akan menghitung volume tanah dalam bingkai tersebut.
4. Buat titik-titik grid dengan titik (X_{min} , Y_{min}) sebagai titik grid paling kiri-bawah dan titik (X_{max} , Y_{max}) sebagai titik grid paling kanan-atas.
5. Tetapkan satu set jumlah grid arah sumbu X (NG_x) dan satu set jumlah grid arah Y (NG_y). Pada aplikasi yang diterangkan dalam tulisan ini, secara detail himpunan $NG_x = \{5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15\}$. Demikian juga himpunan NG_y . Masing-masing himpunan NG_x dan NG_y terdiri atas 11 anggota. Dengan demikian bisa dibuat 121 pasangan $\{NG_x, NG_y\}$. Tiap pasangan $\{NG_x, NG_y\}$ mewakili suatu peta kontur yang bagi oleh ($NG_x \times NG_y$) unit grid.
6. Relatif terhadap tiap titik grid, pilih minimum 6 titik kontur dalam radius pencarian tertentu. Bila pada suatu radius pencarian belum diperoleh 6 titik kontur, radius pencarian diperbesar dengan rasio tertentu dari radius pencarian sebelumnya. Bila pada suatu radius pencarian tertentu sudah diperoleh 6 atau

lebih titik kontur, elevasi titik grid dihitung dengan menggunakan metode IDW (Pers. 1),

7. Selanjutnya dihitung penambahan volume tanah (Pettitt, 2021) pada titik grid dengan mengalikan elevasi titik grid dengan luasan bidang grid (Gambar 3).

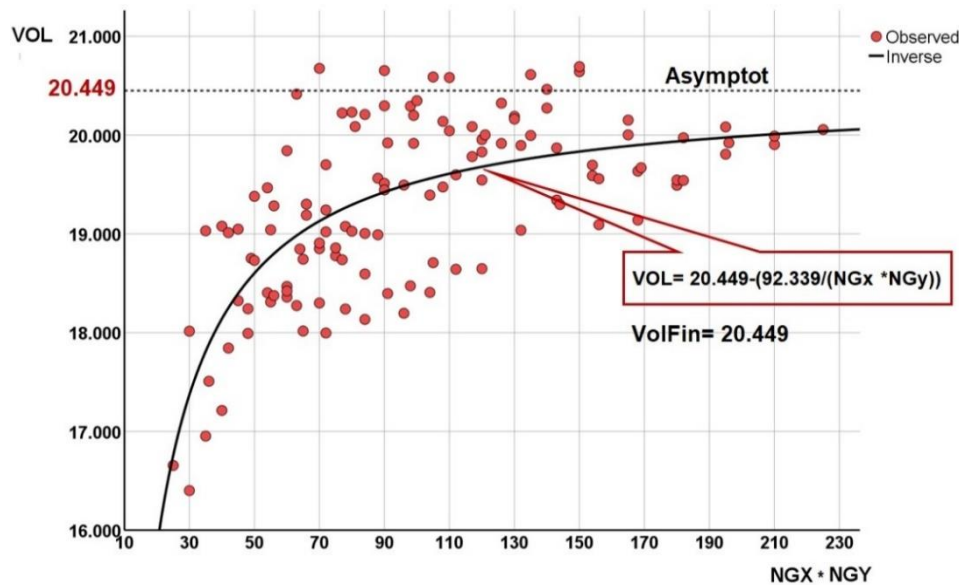


Gambar 3. Definisi Volume Tanah Per Grid.

8. Setelah langkah 6 dan 7 dilakukan pada semua titik grid pada sebuah peta dengan $NGx \times NGy$ tertentu, akan diperoleh volume tanah di dalam bingkai sebagai akumulasi volume tanah pada setiap titik grid (VolEstP).
9. Bila VolEstP untuk semua set $\{NGx \times NGy\}$ telah dihitung, akan diketahui 121 VolEstP, masing-masing satu untuk seperangkat $\{NGx \times NGy\}$. Gambar 4 memperlihatkan *scatterplot* VolEstP versus $(NGx \times NGy)$.
10. Dalam aplikasi, berdasarkan 121 VolEstP, dengan *curve estimation*, dibuat suatu persamaan untuk menghitung volume tanah untuk sebuah peta kontur (VolFinE). Persamaan tersebut berupa *power function* sebagai berikut:

$$\text{VolFinE} = a + \left(\frac{b}{(NGx \times NGy)} \right) \quad [2]$$

Dari Gambar 4 bisa dihipotesakan bahwa dengan membesarnya $NGx \times NGy$, nilai VolFinE akan mencapai suatu asymptot bernilai a (Pers. 2). VolFinE= a adalah estimasi final volume tanah untuk sebuah peta kontur. Gambar 5 adalah *flowchart* algoritma di atas



Gambar 4. *Scatterplot* Volestp Terhadap (Ngx X Ngy).

Skip aplikasi perhitungan volume tanah berdasarkan peta kontur dalam paper ini dibuat menggunakan bahasa komputer Avenue, yang merupakan *programming language* untuk aplikasi ESRI Arcview 3x. Bahasa komputer tersebut dipilih sebagai *developer language* karena Arcview GIS mempunyai banyak fungsi pemetaan seperti perhitungan luas *polygon*, pembuatan peta kontur, dan lain-lain.

3.3 Perkiraan Error

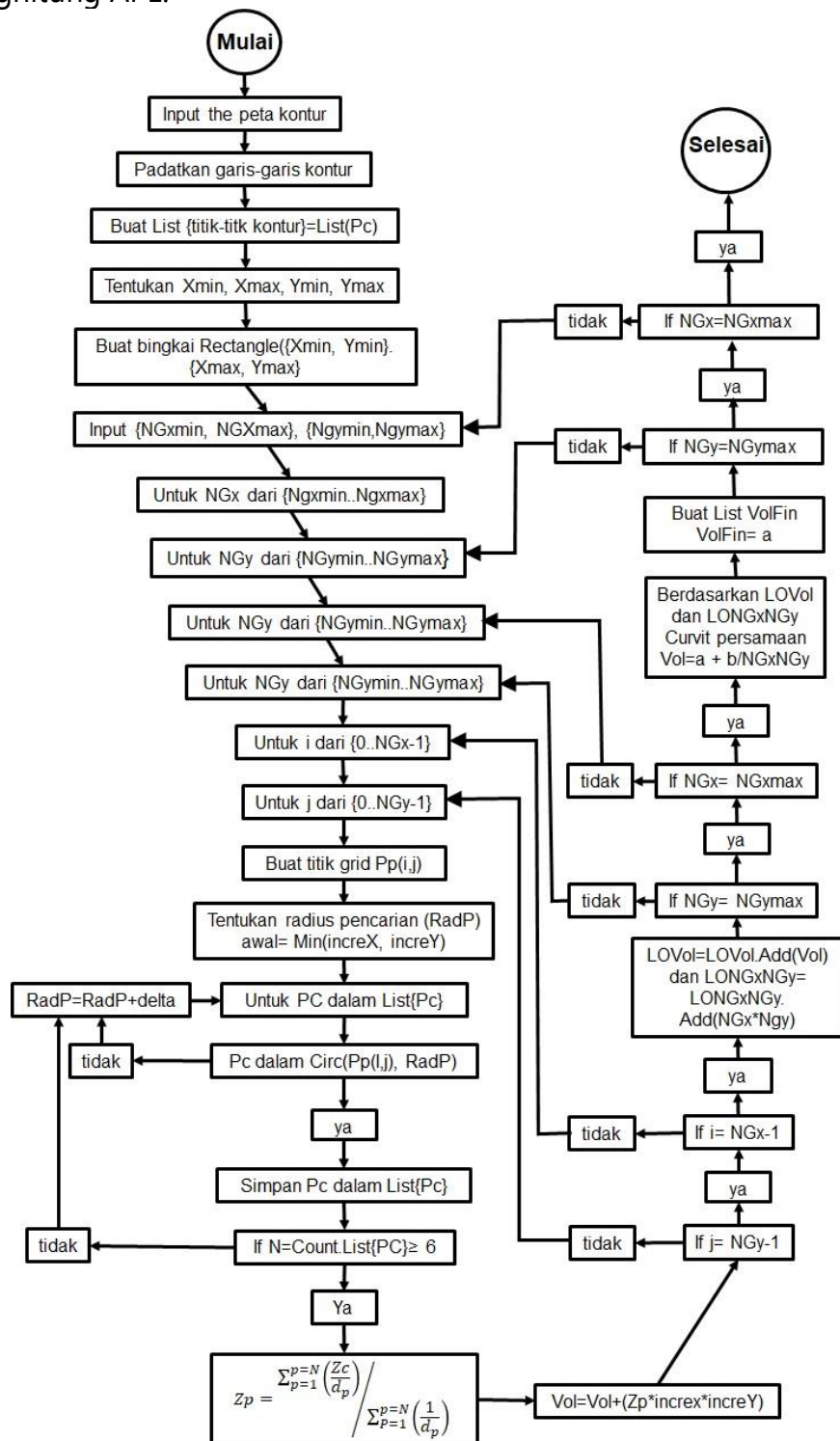
Akurasi aplikasi perhitungan volume tanah dalam paper ini diperkirakan dari sejumlah peta kontur (kasus) tertentu. Peta kontur ini dibuat sedemikian rupa agar bisa dihitung volume yang sebenarnya (*VolReal*). Misalnya peta kontur dari bentuk piramida, volumenya dihitung dengan rumus yang pasti seperti pada Gambar 6. Selanjutnya menggunakan aplikasi tersebut, dihitung volume bentuk geometris tersebut (*VolFin*). Pers. 3 adalah rumus *Percentage error* (PE):

$$PE = \left(\frac{|VolReal - VolFin|}{VolReal} \right) * 100\% \quad [3]$$

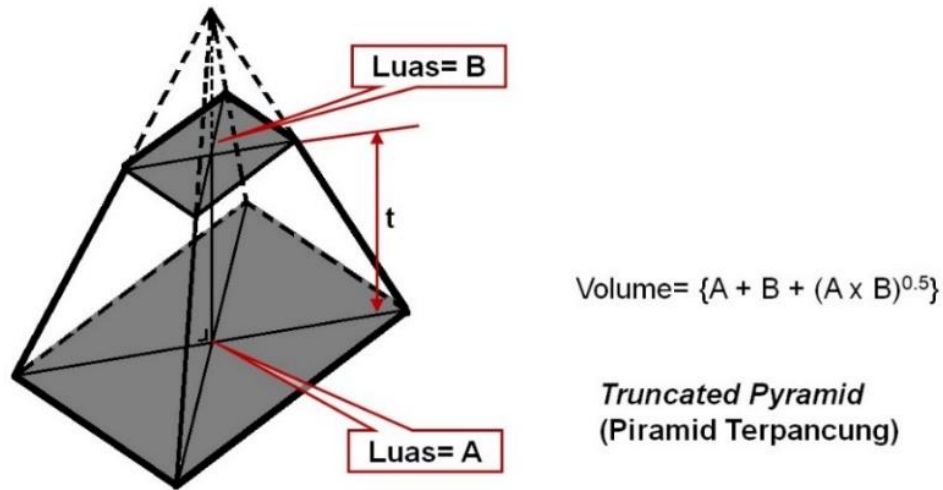
Rata-rata PE atau APE (*average percentage error*) dihitung dari sehimpunan kasus (peta kontur) yang dibuat atas dasar variasi karakteristik tertentu. Karakteristik pertama ialah 5 bentuk dasar permukaan bumi yang digunakan untuk memperkirakan error. Bentuk dasar tersebut adalah, bukit, cekungan, punggung bukit, lembah, permukaan miring, dan gabungan dari bentuk-bentuk dasar tersebut (Gambar 7).

Kedua ialah jumlah grid yg membagi lahan. Perkiraan error dalam paper ini menggunakan jumlah grid arah X atau Y paling kecil= 5, dan paling besar= 15. Sebagai contoh pada peta yg dibagi berdasarkan NGxmin = 5, NGxmax=15 dan NGymin=5, NGymax=15 terdapat 121 titik grid.

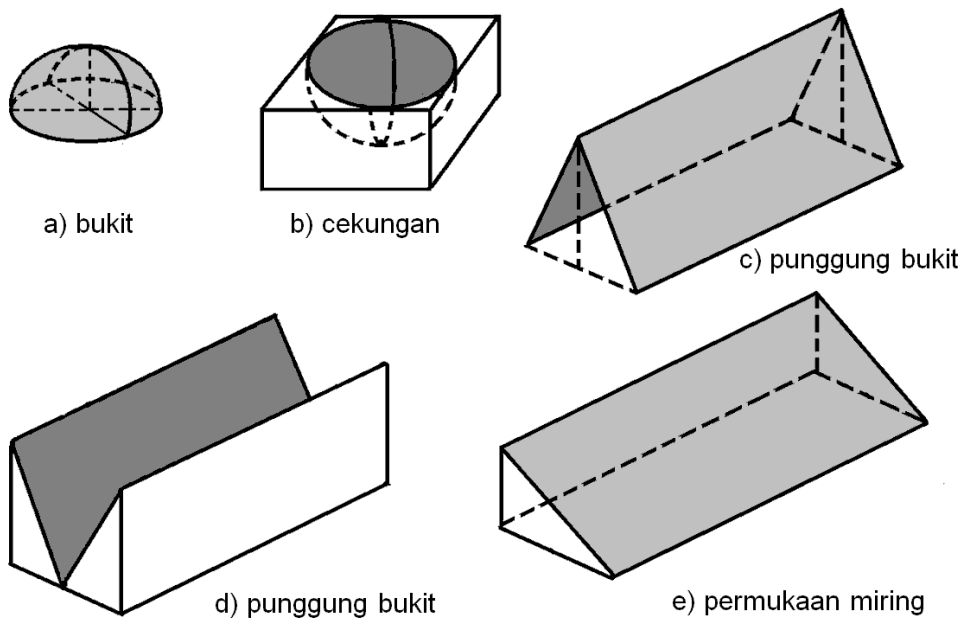
Ketiga ialah kepadatan kontur dilihat dari interval peta kontur. Dalam paper ini dibuat peta kontur dengan interval 0,24m, 0,5m, dan 1,0m. Dengan demikian, berdasarkan variasi tersebut, diperoleh 2178 peta kontur, yang kemudian digunakan untuk menghitung APE.



Gambar 5. *Flowchart* Algoritma Perhitungan Volume Tanah.



Gambar 6. Contoh topografi berbentuk piramid terpancung.



Gambar 7. Variasi Topografi Untuk Memperkirakan Error.

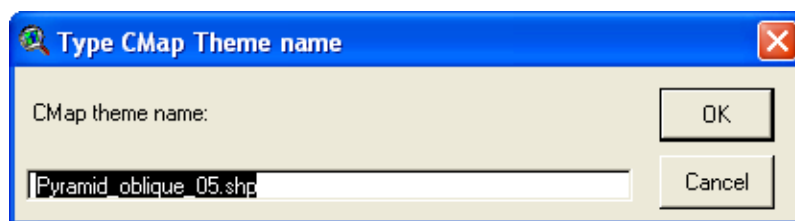
2178 kasus (peta kontur) yang dibuat atas dasar variabel bentuk permukaan bumi, jumlah grid dan garis kontur. Untuk menghitung VolFin tiap peta kontur digunakan data dari 121 kasus. Dengan demikian untuk perhitungan APE digunakan 32 kasus. Dari VolFin 32 kasus diperoleh APE = 2,9% dari VolReal.

3.4 Langkah² Penggunaan Aplikasi.

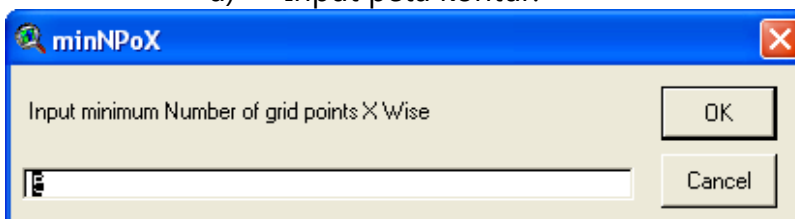
Perangkat lunak yang dibutuhkan untuk menjalankan aplikasi perhitungan volume tanah dalam paper ini adalah ESRI ArcView. Input yang dibutuhkan ialah *theme* peta kontur yang berupa *polyline*, dengan tabel atribut yang mengandung *field Z* (elevasi garis kontur). Juga dibutuhkan dokumen teks yang mengandung kode Avenue yang dapat di minta kepada penulis melalui email *corresponding author*.

Selanjutnya dengan langkah-langkah berikut aplikasi perhitungan volume tanah dapat dijalankan:

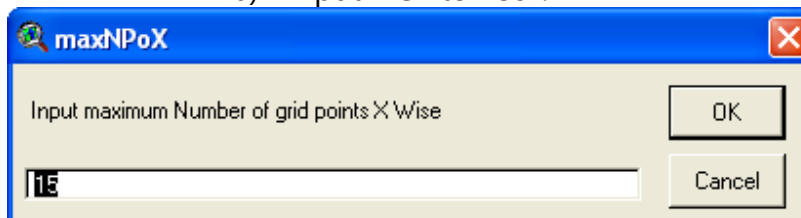
1. Buka ESRI Arcview GIS.
2. Panggil *theme* peta kontur yg akan dihitung volume nya ke *View1*.
3. *Paste* dokumen pada Gambar 7 ke *Script1, compile* dan *run*. Selanjutnya muncul *prompt* (Gambar 8a) untuk menginput nama *theme* peta kontur.
4. Kemudian keluar *prompt* pada Gambar 8b dan Gambar 8c yg meminta nilai NGx terkecil, dan NGx terbesar sebagai dasar pembagian kontur arah Sumbu X. Selanjutnya keluar *prompt* untuk memasukan NGy terkecil dan terbesar.
5. Selanjutnya perhitungan dilakukan, dan di akhir perhitungan akan keluar *output* berupa nilai VolFin (Gambar 8d).



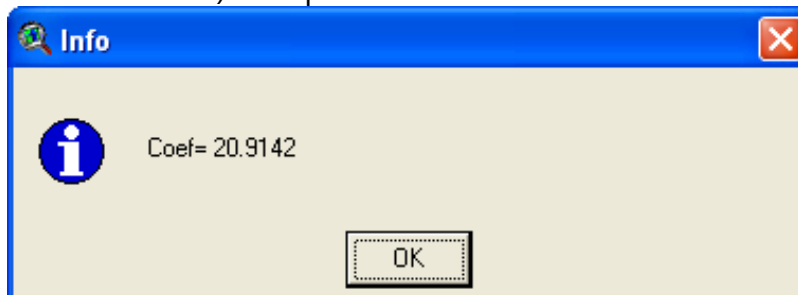
a) Input peta kontur.



b) Input NGx terkecil.



c) Input NGx terbesar.



d) Hasil perhitungan, volume= coef.
Gambar 8. Input Nama *Theme* Peta Kontur.

IV. PEMBAHASAN

Akurasi aplikasi dalam paper ini adalah $APE = 2.9\%$, yang berarti volume tanah yang dihitung berkisar antara $VolReal = VolFin/0.971$ dengan $VolReal = VolFin/1.029$. APE ini masih lebih kecil dari *permissible error* yang berlaku di bidang pekerjaan tanah (Kwoczyńska, 2021; Moustafaev, 2015).

Dalam proses desain sering arsitek harus mengubah topografi. Ada kalanya ia harus menggali (*cut*) dan mengurug (*fill*) bagian tertentu dari tapak. Dengan menggunakan aplikasi yang ada dalam paper ini, arsitek dapat tahu volume tanah sebelum dan sesudah perancangan, sehingga bila diperlukan bisa segera melakukan perubahan desain, hingga diperoleh rancangan *cut and fill* yang seimbang.

Aplikasi penghitung volume tanah dari peta kontur dalam paper ini, hanya mengambil data dari garis-garis kontur. Dengan demikian akan mengalami kesulitan bila sebuah titik grid berada jauh dari garis kontur (University of Southampton, 2022). Sebagai contoh, peta kontur tidak bisa menggambarkan suatu permukaan datar seperti lantai bangunan. Padahal, desain arsitektur umumnya banyak mengubah tapak menjadi ruang-ruang dengan permukaan yang relatif datar. Aplikasi estimasi volume tanah atas dasar garis kontur ini tidak sensitif terhadap topografi datar. Disarankan agar aplikasi perhitungan volume tanah pada paper ini bias dikembangkan agar lebih sensitif untuk menangkap elevasi permukaan yg datar.

Avenue adalah *developer language* dari ESRI ArcView GIS. Sifatnya tertutup, dan hanya bisa digunakan dalam lingkungan ArcView. Sangat baik bila aplikasi seperti yang diterangkan dalam paper ini dikembangkan ke dalam bahasa yang terbuka sehingga tidak tergantung pada *software* tertentu. Walaupun demikian, ArcView banyak mempunyai aplikasi yang dibutuhkan bila kita hendak melakukan analisa spasial, sehingga membuat aplikasi terbuka menjadi lebih sulit untuk dilakukan. Disarankan untuk membuat lebih banyak aplikasi-aplikasi seperti yang diterangkan dalam paper ini dengan menggunakan sistim yang bersifat *open-sources*.

V. KESIMPULAN

Arsitek dalam merancang tapak memerlukan alat yang cepat dan relatif akurat untuk menghitung volume tanah. Paper ini menjelaskan pengembangan alat tersebut. Dengan menggunakan alat perhitungan volume tanah dalam paper ini, arsitek bisa lebih mudah dan cepat mengetahui keseimbangan galian dan urugan yang disebabkan oleh rancangannya. Alat perhitungan volume tanah dalam paper ini dibuat menggunakan bahasa pengembangan aplikasi ESRI ArcView yang bersifat tertutup sehingga hanya bisa digunakan dalam lingkungan terbatas. Agar bisa dipakai seperti kalkulator, disarankan untuk mengembangkan teknik perhitungan volume tanah menggunakan sistem yang terbuka.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J., 2019, *Methods to Make Contour Map*, May 16, 2019, https://www.onsiteinstaller.com/online_exclusives/2019/05/methods-to-make-a-contour-map#:~:text=after%20all%20thw%20elevations%20have,data%20collected%20in%20the%20field.
- Arabinda S.; Tiwari K.N.; Bhadoria, P. B. S., 2019, *Measuring the Accuracy of Contour Interpolated Digital Elevation Models*, J. Indian Soc. Remote Sens. (March 2009) 37:139–146
- Çizgen, G., 2012, *Rethinking the Role of Context and Contextualism in Architecture and Design*, Thesis untuk the Institute of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science in Architecture Eastern Mediterranean University September 2012, Gazimağusa, North Cyprus.
- ESRI, 2021, What is TIN surface?-ArcMap, [https://desktop.arcgis.com/en/arxmap/latest/manage-data/tin/fundamentals-of-tinsurfaces.htm#:~:text=Triangular%20irregular%20networks%20\(TIN\)%20have,set%20of%20vertices%20\(points\).](https://desktop.arcgis.com/en/arxmap/latest/manage-data/tin/fundamentals-of-tinsurfaces.htm#:~:text=Triangular%20irregular%20networks%20(TIN)%20have,set%20of%20vertices%20(points).)
- GeoPatech, 2023, *What is the Difference between IDW and Kriging*, <https://geopatech.com/what-is-the-difference-between-idw-and-kriging/#.~:text=idw%20is%20a%20simple%20method,by%20referring%20to%20neighboring%20location.>
- GISGeography, 2022, *Inverse Distance Weighting (IDW) Interpolation*, Last Updated: November 9, 2022, <https://gisgeography.com/inverse-distance-weighting-idw-interpolation/>.
- GISGeography, 2022, *What Are Contour Lines on Topographic Maps?*, Last Updated: November 9, 2022, <https://gisgeography.com/contour-lines-topographic-map/>.
- Khadeghat, M., 2022, *4 Essential Elements of Site Analysis*, May 9, 2022, <https://blog.sketchup.com/article/4-essential-elements-of-site-analysis>.
- Kwoczyńska, B., 2021 *Determining the volume of soil masses using different measurement techniques*, *Geomatics, Land-management and Landscape* No. 3 • 2021, 7–23).
- Liu, B.; Deng, Y.; Li, M.; Yang, J.; Liu, T., 2022, *Classification Schemes and Identification Methods for Urban Functional Zone: A Review of Recent Papers*. *Appl. Sci.* 2021, 11, 9968, <https://doi.org/10.3390/app11219968>.
- Maleika, W., 2020, *Inverse distance weighting method optimization in the process of digital terrain model creation based on data collected from a multibeam echosounder*, *Applied Geomatics* 30 April 2020, 12:397–407, <https://doi.org/10.1007/s12518-020-00307-6>.

- Moustafaev, J., 2015, *Article-What are the Estimation Accuracy Norms for Different Phases of the Project?*, Sun, 04/26/2015-15:01, <https://www.thinktankconsulting.ca/what-are-the-estimation-accuracy-norms-for-different-phases-of-the-project>.
- Pettitt, K., Mar 25, 2021, *Calculating Earthworks Cut & Fill With A Spreadsheet / Grid Method*, <https://www.kublasoftware.com/calculating-earthworks-cut-fill-with-a-spreadsheet-grid-method/>.
- Tomislav Malvi; Josip Ivšinovi; Josipa Veli; Jasenka Srema; Uroš Barudžija, 2020, *Application of the Modified Shepard's Method (MSM): A Case Study with the Interpolation of Neogene Reservoir Variables in Northern Croatia*, Stats 2020, 3, 68–83; doi:10.3390/stats3010007.
- University of Southampton, 2022, *Welcome to GIS for Environmental Management*, <http://generic.wordpresss.soton.ac.uk/gem/>.
- Wu, Yi-Hwa (Eva); Hung, Ming-Chih, 2016, *Comparison of Spatial Interpolation Techniques Using Visualization and Quantitative Assessment*, 2016 Published: November 2nd, 2016, DOI: 10.5772/65996.
- Yasrebi, J.; Saffari, M.; Fathi, H.; Karimian, N.; Moazallahi, M.; Gazni, R., 2009, *Evaluation and Comparison of Ordinary Kriging and Inverse Distance Weighting Methods for Prediction of Spatial Variability of Some Soil Chemical Parameters*, Research Journal of Biological Sciences, Vol. 4, Issues 1, 93-102, 2009, ISSN: 1815-8846.
- ZIEGLER, A.D.; SIDLE, R. C.; SONG, M. S.; ANG, Z. J.; DUANGNAMON, D., 2012, *Towards better design and management of tsunami evacuation routes: a case study of Ao Jak Beach Road*, Geological Society London Special Publications, January 2012 DOI: 10.1144/SP361.9.