
Kajian Awal Penyusunan Algoritma Perhitungan Luas Tanah dan Faktor Koreksi dengan Metode Poligon Terbuka dan Tertutup

M. J. Andries

joyce@blt.co.id

Penulis

M. J. Andries adalah staf pengajar di Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Saat ini, penulis berkarir di bidang keuangan di sebuah perusahaan multinasional. Bidang peminatan: Matematika Bisnis, *Financial Engineering*, *Risk Management*.

Abstract

Data for land squares area and land volumes are strongly needed for private company neither is the government. Nowadays, the calculations of land squares are done manually, which need long and repetitive calculations. It is unfortunately risky for the researches. On the other side, none of the standard methods is used to calculate the volume of land burying. One of the alternatives when we intend to minimize the error of the calculation and measurement process is to integrate the step of calculation and measurement processes themselves. The underlined means to practice the automation on the recitation of several measurement output, and then the calculation of land squares, contour drawing, and land volumes can automatically be done.

On the calculation of area squares, contour drawing, and land volumes, data of the measurements are put into calculation algorithm and are expected to be directly used in calculating the land squares, contour drawing, and land volumes, also automatically make the correction on the errors in order to minimize them.

In this research, no hardware development is being developed. The author intended only to compose a calculation of algorithm to calculate land squares.

Keywords

Land squares, algorithm, integrate

PENDAHULUAN

Hingga saat ini, sebagian besar proses penghitungan luas tanah masih dilakukan secara manual yang membutuhkan proses penghitungan yang panjang dan berulang, serta membutuhkan waktu yang lama sehingga riskan terhadap ketelitian. Perhitungan secara manual tersebut tidak efisien karena membutuhkan waktu dan tenaga yang cukup banyak sehingga perlu adanya perbaikan cara perhitungan yaitu dengan pengolahan data langsung di lapangan.

Ada dua tahap yang dilakukan untuk perhitungan luas tanah, yaitu tahap pengukuran dan tahap perhitungan, yaitu:

1. Tahap pertama yang dilakukan adalah tahap pengukuran yaitu melakukan pengukuran tanah dengan menggunakan alat ukur Theodolite, kemudian hasilnya dicatat oleh pengukur secara manual dalam lembar formulir tertentu. Hasil yang harus dicatat dalam formulir tersebut adalah sudut heling, azimut, dan jarak proyeksi. Yang langsung terlihat di alat pengukur tersebut adalah sudut heling, jarak proyeksi, dan azimut.
2. Tahap kedua adalah tahap perhitungan. Perhitungan luas tanah dilakukan secara manual dengan menggunakan data yang diperoleh dari hasil pengukuran sebelumnya.

Pengukuran yang dilakukan secara manual memiliki tingkat keyakinan yang rendah akibat ketidakteelitian pada saat pembacaan kumulatif dari alat ukur selama proses pengukuran dan pemasukan data untuk proses perhitungan. Salah satu alternatif untuk meminimasi kesalahan pengukuran dan perhitungan tersebut adalah dengan melakukan pengintegrasian tahap pengukuran dengan tahap perhitungan. Yang dimaksud dengan pengintegrasian adalah dengan menerapkan otomasi dalam hal pembacaan beberapa hasil pengukuran dan kemudian perhitungan luas tanah, penggambaran kontur, dan perhitungan volume tanah dapat langsung dilakukan secara otomatis.

Untuk melaksanakan hal tersebut diperlukan perangkat pengukuran elektronik yang menggunakan sistem *encoder* yang dapat membaca data hasil pengukuran berupa sudut heling, dan juga azimut. Peranan operator dalam hal ini masih diperlukan yaitu untuk menentukan arah sasaran pengukuran dan pengaturan jarak proyeksi.

Untuk tujuan tersebut, maka diperlukan pengembangan perangkat keras Theodolite, di mana Theodolite tersebut akan dimodifikasi dengan teknologi *retrofitting*, kemudian didukung dengan sebuah mikro-komputer yang sudah dilengkapi perangkat lunak (*software*) yang akan menghitung luas tanah, kontur tanah dan volume tanah.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk:

1. Menyusun algoritma pengolahan data untuk perhitungan luas dan faktor koreksi, serta penggambaran luas (secara kasar) yang dilakukan dengan metode pengukuran Poligon Terbuka.
2. Menyusun algoritma pengolahan data untuk perhitungan luas dan faktor koreksi, serta penggambaran luas (secara kasar) yang dilakukan dengan metode pengukuran Poligon Tertutup.

Manfaat yang diharapkan dapat dicapai melalui penelitian ini, antara lain:

1. Memudahkan pihak yang bersangkutan baik pihak pemerintah maupun pihak swasta memperoleh luas tanah yang diinginkan secara cepat, karena sudah terintegrasinya tahap pengukuran dan tahap perhitungan.

2. Percepatan hasil pengolahan data yang sangat berarti dan kemudahan pengolahan data pengukuran untuk kepentingan analisis lebih lanjut.
3. Dapat memberi bayangan bentuk tanah yang terukur dengan adanya penggambaran luas secara kasar.
4. Dapat meminimasi kesalahan (*error*) yang dihasilkan dibandingkan dengan dengan pengukuran dan perhitungan secara manual dan juga dapat menghemat waktu dan tenaga.
5. Memudahkan pembuatan perangkat lunak (*software*) untuk menghitung luas tanah.

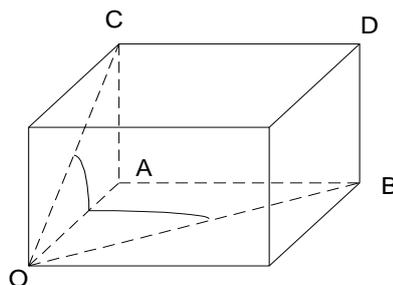
TINJAUAN TEORI

Teori Pengukuran dan Kesalahan

Nilai dari sebuah jarak atau sebuah sudut didapat dari pengukuran lapangan tidak pernah menyamai nilai yang sebenarnya, kecuali secara kebetulan. *Error* adalah perbedaan antara nilai yang sebenarnya dari sebuah kuantitas dan nilai yang diukur pada pengukuran. Hasil *error* dari ketidaksempurnaan peralatan, keterbatasan pengukur, dan kondisi natural (alam) mempengaruhi pengukuran.

Contoh dari keterbatasan seseorang adalah ketidakmampuan sang pengamat untuk memisahkan sebuah target atau membaca sebuah *vernier* secara benar, dan ketidakmampuan untuk mempertahankan sebuah tekanan yang konstan pada ujung sebuah pita pengukur. Contoh dari kondisi alam yang mempengaruhi sebuah pengukuran adalah perubahan temperatur, angin dan perubahan sudut pandang karena kondisi atmosfer, dan daya tarik magnetis.

Ada lima tipe pengukuran tanah (lihat gambar 1). (1) sudut horizontal yang selanjutnya akan disebut sebagai azimut, (2) jarak horizontal, (3) sudut vertikal yang selanjutnya akan disebut sebagai sudut heling, dan (4) jarak vertikal, yang selanjutnya akan disebut jarak proyeksi. Azimut, sebagai sudut AOB, dan jarak horizontal, OA dan OB, diukur pada bidang horizontal; dan sudut heling, yaitu AOC, pada bidang vertikal. Jarak proyeksi, AC dan BD, diukur pada arah gravitasi.



Gambar 1. Tipe-tipe pengukuran

Dengan menggunakan kombinasi dari dasar pengukuran ini, memungkinkan untuk menghitung posisi relatif antara beberapa titik.

Kesalahan didefinisikan sebagai perbedaan antara nilai hasil pengukuran dan nilai yang sebenarnya, atau

$$E = X - \bar{X} \dots\dots\dots(1)$$

dimana E adalah kesalahan dalam pengukuran, X adalah nilai pengukuran dan \bar{X} adalah nilai yang sebenarnya.

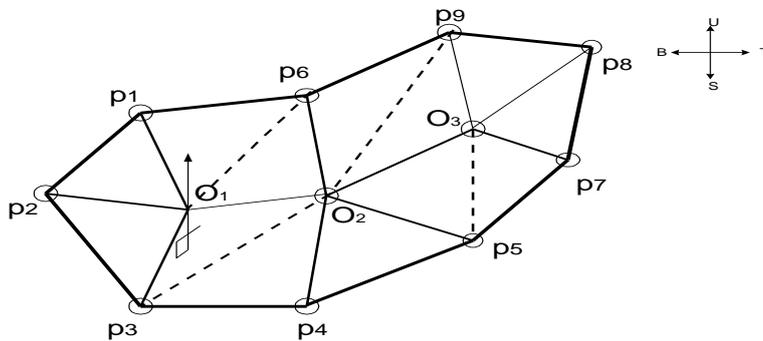
Kesalahan ini terjadi karena (1) tidak ada pengukuran yang tepat, (2) setiap pengukuran terdapat kesalahan, (3) nilai yang sebenarnya dari pengukuran tidak pernah diketahui, dan (4) kesalahan secara tepat selalu tidak diketahui. Ketepatan pengukuran tergantung pada ukuran pembagian,

reliabilitas peralatan yang digunakan, dan keterbatasan manusia dalam menginterpolasi.

Kesalahan dalam pengukuran: (1) Kesalahan alam. Ini disebabkan oleh variasi angin, temperatur, gravitasi dan lain-lain. (2) Kesalahan peralatan. Ini dihasilkan dari ketidaksempurnaan dalam pembuatan atau penyesuaian peralatan dan dari bagian alat yang dapat bergeser. (3) Kesalahan manusia. Hal ini muncul karena keterbatasan indra penglihatan dan sentuhan manusia.

Metode Pengukuran

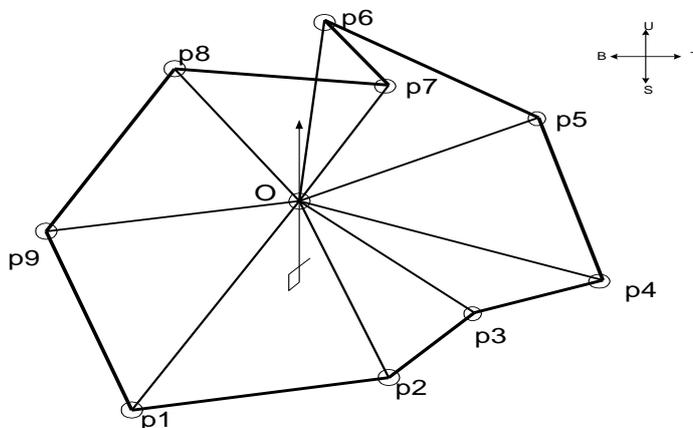
Ada dua macam metode pengukuran: Poligon Terbuka dan Poligon Tertutup. Pada pengukuran menggunakan Poligon Terbuka, pengukuran tanah dilakukan dengan bantuan beberapa titik referensi yang tidak kembali ke titik awal pengukuran. Seperti pada gambar 2, titik O_1 , O_2 , dan O_3 merupakan titik-titik yang membentuk poligon dan titik terakhir pengukuran (O_3) tidak kembali ke titik awal pengukuran (O_1).



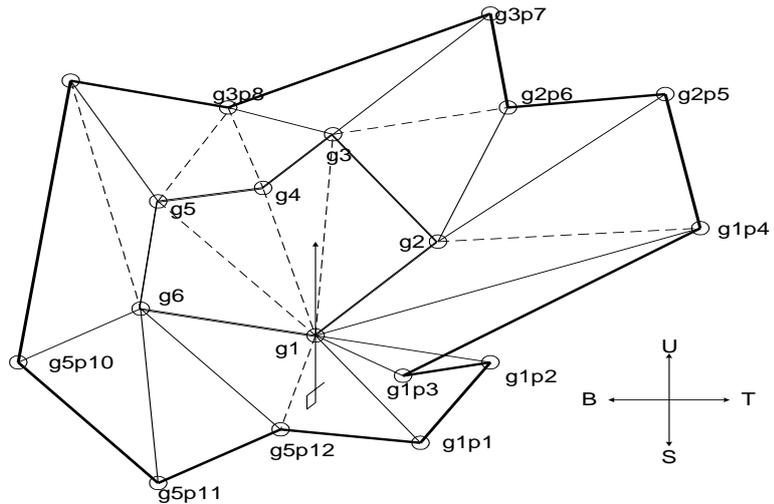
Gambar 2. Poligon Terbuka

Selain itu jika pengukuran dapat langsung dilakukan dari sebuah titik referensi, dapat juga dikatakan sebagai pengukuran menggunakan metode Poligon Terbuka. Seperti terlihat pada gambar 3, titik O merupakan titik referensi (titik poligon) untuk melakukan pengukuran.

Pada pengukuran menggunakan Metode Poligon Tertutup, pengukuran dilakukan dengan beberapa titik referensi yang akan kembali lagi ke titik awal. Titik-titik referensi tersebut akan membentuk poligon tertutup dimana titik terakhir pengukuran akan kembali ke titik awal pengukuran. Seperti dapat dilihat pada gambar 4, pengukuran poligon terakhir dilakukan dari titik g_6 akan kembali lagi ke titik awal pengukuran g_1 .



Gambar 3. Poligon Terbuka dengan Satu Titik Referensi



Gambar 4. Poligon Tertutup

Theodolite

Theodolite, seperti terlihat pada gambar 5, merupakan peralatan pengukuran yang banyak digunakan. Meskipun kegunaan utamanya adalah untuk mengukur sudut horizontal dan vertikal dengan teliti, *Theodolite* juga dipakai untuk menentukan jarak horizontal dan vertikal dengan bantuan alat lain.

Komponen utama dari *Theodolite* adalah sebuah *sighting telescope* dan dua buah *graduated circles* pada bidang yang saling tegak lurus. Pada saat mengukur sudut, pertama kali "*horizontal*" *circle* diorientasikan pada bidang horizontal, yang secara otomatis akan meletakkan *circle* lain pada bidang vertikal. Sudut horizontal dan vertikal dapat diukur secara langsung pada bidang referensinya masing-masing.



Gambar 5. *Theodolite*

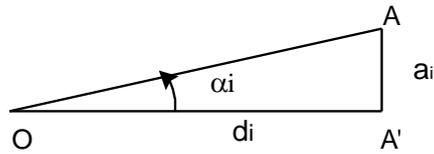
Sudut Heling

Sudut heling adalah sudut vertikal yang terletak pada bidang vertikal dan diukur terhadap ketinggian jarak proyeksi. Sudut heling bernilai positif jika ketinggian jarak proyeksi bernilai positif dan akan bernilai negatif jika ketinggian jarak proyeksi bernilai negatif. Jadi sudut heling merupakan sudut pandang pengamat terhadap ketinggian jarak proyeksi dilihat dari *Theodolite* pada bidang vertikal. □□ Sudut heling memiliki satuan derajat ($^{\circ}$).

Pada pengukuran sudut heling akan terdapat kesalahan. Salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya kesalahan pada pengukuran adalah alat ukur yang digunakan. Kesalahan alat ukur ini digunakan sebagai faktor koreksi untuk hasil pengukuran yang diperoleh.

Untuk mengetahui adanya kesalahan pada pengukuran sudut heling dilakukan pengukuran sudut heling secara berulang terhadap jarak horizontal

(d) dan jarak proyeksi (a) yang sudah ditentukan (tetap), sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6 Sudut Heling

Azimut

Azimut adalah sudut horizontal yang terletak pada bidang horizontal dan selalu diukur dari Utara ke titik pengamatan yang bersangkutan. Pengukuran azimut biasanya dilakukan searah dengan jarum jam atau *clock wise* (cw). Pengukuran azimut menggunakan *Theodolite* memiliki satuan *grads* dimana 1 putaran putaran alat ukur dibagi menjadi 400 skala pembacaan.

Seperti halnya pengukuran sudut heling, pengukuran azimut juga memiliki kemungkinan terjadinya kesalahan karena alat ukur yang digunakan. Kesalahan azimut pada pengukuran menggunakan Metode Poligon Terbuka dengan satu titik referensi dapat diketahui jika hasil pengukuran azimut pertama kali berbeda dengan hasil pengukuran azimut terakhir kali pada titik yang sama.

Koreksi azimut dilakukan dengan membagi perbedaan sudut ukur tersebut sama besar ke masing-masing azimut lain. Faktor koreksi (k) diperoleh dengan membagi besarnya kesalahan (α_t) dengan banyaknya titik hasil pengukuran dikurang satu (n-1).

$$k = \alpha_t / (n-1) \dots\dots\dots(1)$$

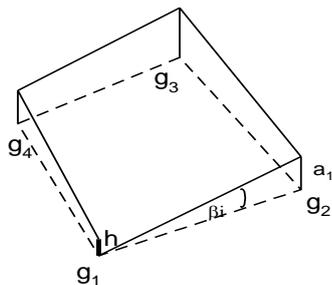
Koreksi azimut dilakukan secara kumulatif pada tiap titik pengukuran. Koreksi titik ke-i (α_i) diperoleh dengan mengurangi azimut titik tersebut dengan kumulatif faktor koreksinya, dimulai dari titik i = 2 sampai titik terakhir.

$$\alpha_i = \alpha_i - (i-1).k \dots\dots\dots(2)$$

Jarak Proyeksi

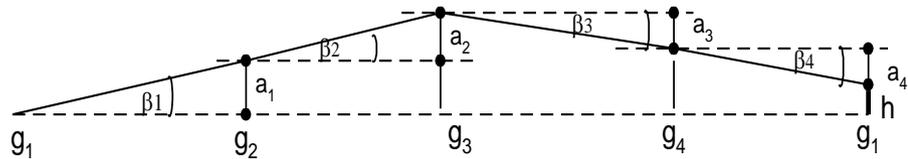
Jarak proyeksi adalah jarak vertikal pada bidang vertikal yang merupakan ketinggian titik pengamatan dari permukaan horizontal. Jarak proyeksi memiliki satuan meter (m).

Pengukuran jarak proyeksi juga memiliki kemungkinan terjadinya kesalahan akibat alat ukur yang digunakan. Kesalahan jarak proyeksi pada pengukuran menggunakan Metode Poligon Tertutup dapat diketahui jika ada perbedaan ketinggian (h) antara ketinggian titik awal (g_1) dengan ketinggian jarak proyeksi titik terakhir (a_4), seperti terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Perbedaan Ketinggian pada Poligon Tertutup

Koreksi jarak proyeksi dilakukan dengan melihat adanya hubungan antara sudut heling (β_i) dan jarak proyeksi (a_i). Semakin besar sudut heling hasil pengukuran maka akan semakin besar juga koreksi jarak proyeksi titik tersebut. Nilai negatif sudut heling pada hasil pengukuran hanya menunjukkan arah pengukuran sehingga pada perhitungan koreksi jarak proyeksi ini, sudut heling yang digunakan harus dimutlakan terlebih dahulu, sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Koreksi Jarak Proyeksi

Setelah diperoleh adanya perbedaan ketinggian (h), selanjutnya kita menghitung β_t yaitu penjumlahan mutlak sudut heling seluruh titik pengukuran.

$$\beta_t = [\beta_i] + [\beta_{i+1}] + \dots + [\beta_n], \text{ dimana } i = 1, 2, 3, \dots, n \dots \dots \dots (3)$$

Koreksi pada jarak proyeksi titik ke- i (a_i) dilakukan yaitu dengan mengurangi jarak proyeksi titik tersebut dengan perkalian antara perbedaan ketinggian (h) dengan perbandingan antara mutlak sudut heling titik tersebut $[\beta_i]$ dan total penjumlahan sudut heling (β_t)

$$a_i = a_i - h \cdot [\beta_i] / \beta_t \dots \dots \dots (4)$$

Jarak Horizontal

Jarak horizontal adalah jarak dari posisi pengamat ke titik pengamatan yang terukur pada bidang horizontal. Jarak horizontal d_i pada gambar 6, diperoleh dengan membagi jarak proyeksi titik tersebut (a_i) dengan tan sudut helingnya (α_i). Jarak horizontal memiliki satuan meter (m).

$$d_i = a_i / \tan(\alpha_i) \dots \dots \dots (5)$$

Luas Tanah Pengukuran

Dalam pengukuran tanah, luas yang dimaksud adalah luas pada permukaan horizontal. Sebuah daerah tertutup dengan garis lurus pada semua sisinya dapat dibagi menjadi segitiga-segitiga dengan menggambar sejumlah diagonal. Perhitungan luas sebuah daerah dilakukan dengan (1) membagi daerah tersebut menjadi bentuk yang sederhana (segitiga), (2) menentukan nilai-nilai yang dibutuhkan (panjang dan sudut), (3) menghitung luas tiap segitiga, (4) menjumlahkan luas-luas tersebut untuk menentukan luas total dari daerah tersebut.

PENYUSUNAN ALGORITMA PERHITUNGAN LUAS TANAH

Penentuan Atribut Pengukuran

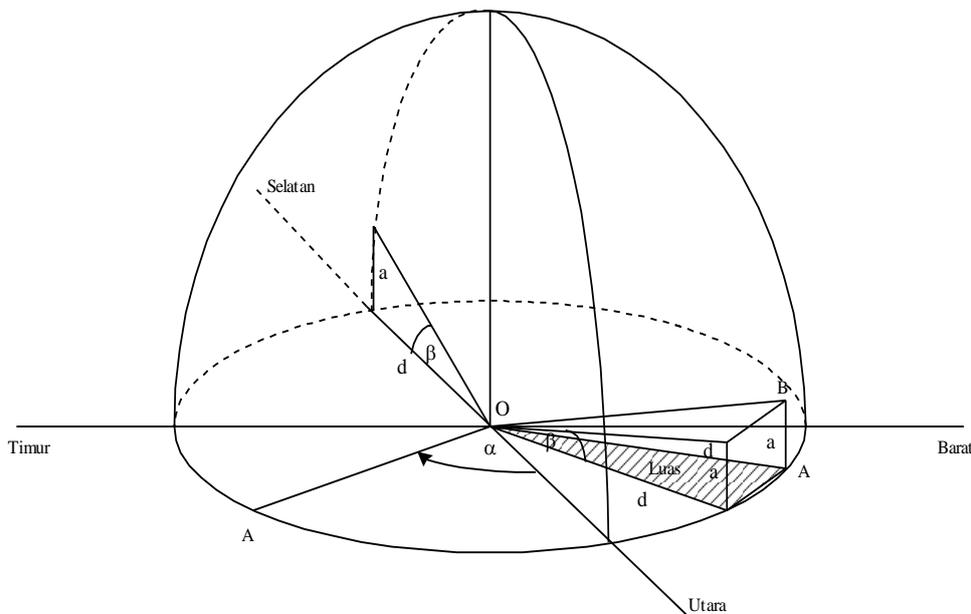
Atribut-atribut tersebut adalah sudut heling, azimuth, jarak proyeksi, jarak horizontal, luas, titik awal, titik batas luar, titik poligon, dan titik kontur.

1. Sudut Heling

Sudut heling adalah sudut pandang pengamat dilihat dari Theodolite terhadap ketinggian patok ukur. Sudut heling ini terletak pada bidang vertikal di titik pengamat. Pada gambar 9 sudut heling diberi notasi β_i .

2. Azimut

Azimut adalah sudut horizontal yang terletak pada bidang horizontal dan selalu diukur dari arah Utara ke titik pengukuran yang bersangkutan. Azimuts mempunyai range dari 0 sampai 360° dan tidak diidentifikasi dengan quadrant. Pada alat ukur Theodolite, pengukuran dilakukan dengan satuan gradian, yakni satu putaran alat ukur dibagi menjadi 400 skala pembacaan. Pada gambar 9 azimut α diukur dari arah Utara dan searah jarum jam (cw).



Gambar 9. Atribut-atribut Pengukuran

3. Jarak Proyeksi

Jarak proyeksi adalah beda tinggi yang merupakan panjang pengukuran dari proyeksi titik O di atas permukaan horison sampai ke titik A atau dengan kata lain jarak proyeksi adalah ketinggian yang terlihat oleh pengamat pada Theodolite. Pada gambar 9 jarak proyeksi a adalah tinggi segitiga OAB. Jarak proyeksi memiliki satuan dalam meter (m).

Penentuan Atribut Perhitungan

1. Jarak Horizontal

Jarak horizontal (d) adalah jarak dari posisi pengamat ke titik pengamatan yang terukur pada bidang horizontal. Jarak horizontal sebuah titik merupakan jarak proyeksi titik tersebut dibagi dengan *tangen* sudut heling titik tersebut. Jarak horizontal memiliki satuan dalam meter (m). Pada gambar 10 jarak horizontal dinotasikan dengan d.

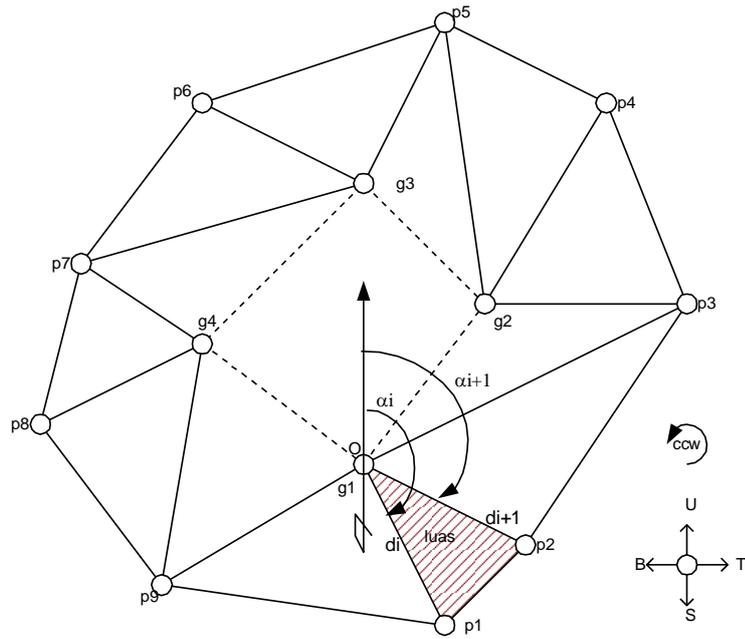
2. Luas Segitiga

Luas segitiga merupakan luas yang dapat diperoleh jika terdapat dua buah titik pengukuran terhadap satu titik tempat pengukuran berada. Dengan penjumlahan luas segitiga secara keseluruhan maka perhitungan luas areal secara keseluruhan akan didapat dengan lebih mudah. Luas memiliki satuan dalam meter persegi (m²).

$$\text{Luas} = \frac{1}{2} \times d_i \times d_{i+1} \times \sin(\alpha_i - \alpha_{i+1}) \dots\dots\dots(6)$$

3. Titik Awal

Titik awal merupakan titik dimana pengamat melakukan pengukurannya pertama kali. Pada gambar 10 dapat dilihat bahwa titik awal dinotasikan dengan O.



Gambar 10. Atribut-atribut Perhitungan

4. Titik Batas Luar
Titik batas luar merupakan titik pengukuran terluar dari tanah yang akan diukur luasnya. Titik batas luar pada gambar 10 dinotasikan huruf p_i .
5. Titik Poligon
Titik Poligon merupakan titik bantu pengukuran. Titik Poligon diperoleh jika titik batas luar tidak mungkin diukur dari titik awal. Titik Poligon pada gambar 10 dinotasikan dengan huruf g_i .
6. Titik Kontur
Titik kontur merupakan titik-titik dengan ketinggian yang sama yang dapat digunakan sebagai data untuk pembuatan kontur tanah. Titik batas luar dan titik Poligon termasuk ke dalam titik kontur. Untuk pembuatan kontur, beberapa titik pengukuran tambahan di dalam areal pengukuran perlu diperoleh agar diperoleh hasil yang cukup memadai.

Penentuan Faktor Koreksi Sudut Heling

Salah satu dari faktor yang mempengaruhi terjadinya kesalahan pada pengukuran adalah alat ukur yang digunakan. Alat ukur yang digunakan pada pengukuran ini diasumsikan mempunyai kesalahan (*error*). Kesalahan (*error*) alat ukur ini digunakan sebagai faktor koreksi untuk hasil pengukuran yang diperoleh.

Untuk mencari kesalahan (*error*) alat ukur ini dilakukan pengukuran sudut heling secara berulang terhadap jarak horizontal (d) dan jarak proyeksi (a). Dalam hal ini jarak horizontal dan jarak proyeksi diasumsikan tetap dan jarak proyeksi diukur dari batang ukur yang mempunyai skala tetap.

Dari pengukuran berulang ini kemudian diperoleh beberapa hasil pengukuran sudut heling yang akan digunakan untuk menghitung rata-rata dan standar deviasi. Kemudian dari rata-rata dan standar deviasi yang diperoleh dicari ketidakpastian relatif yaitu dengan membagi standar deviasi dengan rata-rata. Ketidakpastian relatif inilah yang akan dijadikan sebagai faktor koreksi.

Hasil pengukuran berulang ini kemudian dibandingkan dengan nilai benar (X_o). Nilai benar ini diperoleh dengan cara menghitung sudut heling yang membentuk d dan a . Dari hasil perbandingan ini kemudian dapat ditarik kesimpulan kecenderungan data apakah data tersebut cenderung untuk berkurang atau bertambah dari X_o . Dari kesimpulan yang diperoleh dijadikan

patokan apakah sudut heling yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan akan dikurangi atau ditambah dengan faktor koreksi.

Faktor koreksi sudut heling terbagi atas dua, yaitu faktor koreksi sudut heling untuk sudut yang diukur berlawanan arah dengan jarum jam dari titik pengukuran (arah positif) dan faktor koreksi sudut heling untuk arah yang searah dengan jarum jam (arah negatif). Pada dasarnya cara menentukan kedua faktor tersebut adalah sama yang berbeda hanya terletak pada cara pengukuran sudut yaitu berlawanan atau searah jarum jam dari titik pengukuran.

Tahap-tahap mencari faktor koreksi sudut heling untuk sudut yang diukur berlawanan arah jarum jam (arah positif) dan searah jarum jam (arah negatif) dari titik pengukuran, yaitu :

1. Tentukan jarak horizontal (d) dan jarak proyeksi (a) yang akan digunakan sebagai patokan pengukuran. Lihat Gambar 11 untuk pengukuran sudut heling searah (cw) dan berlawanan (ccw) jarum jam.
2. Cari nilai X_0 dengan mencari sudut yang membentuk jarak horizontal (d) dan jarak proyeksi (a) yang sudah ditentukan dan diasumsikan tetap.

$$\beta_i = \arctan \left(\frac{a}{d} \right), \beta_i = X_0 \dots\dots\dots (7)$$

3. Lakukan pengukuran berulang untuk sudut heling x_i dengan d dan a yang tetap untuk kedua faktor koreksi.
4. Hitung rata-rata dan standar deviasi dari hasil pengukuran sudut yang berulang. Untuk sudut heling searah jarum jam yang bernilai minus, sebelum melakukan perhitungan sudut heling tersebut dimutlakin terlebih dahulu, karena tanda minus pada sudut tersebut bukan menunjukkan nilai tapi hanya untuk menunjukkan arah.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \dots\dots\dots (8)$$

$$\Delta x = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}{n-1}} \dots\dots\dots (9)$$

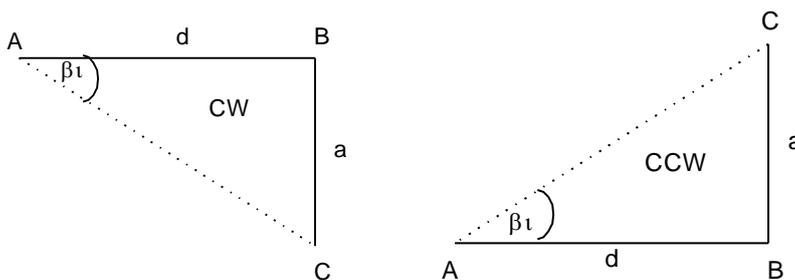
Keterangan :

- n = jumlah pengukuran
- x_i = hasil pengukuran ke-i
- \bar{x} = rata-rata
- Δx = standar deviasi

5. Hitunglah ketidakpastian relatif (e) yang akan digunakan sebagai faktor koreksi

$$e = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \dots\dots\dots (10)$$

6. Bandingkan rata-rata pengukuran sudut heling (\bar{x}) dengan X_0 .
7. Kesimpulan yang diperoleh dari hasil perbandingan tersebut dipakai sebagai patokan untuk menentukan apakah hasil pengukuran di lapangan akan dikurangi atau ditambah dengan faktor koreksi.



Gambar 11. Segitiga ABC untuk Sudut Heling CW dan CCW

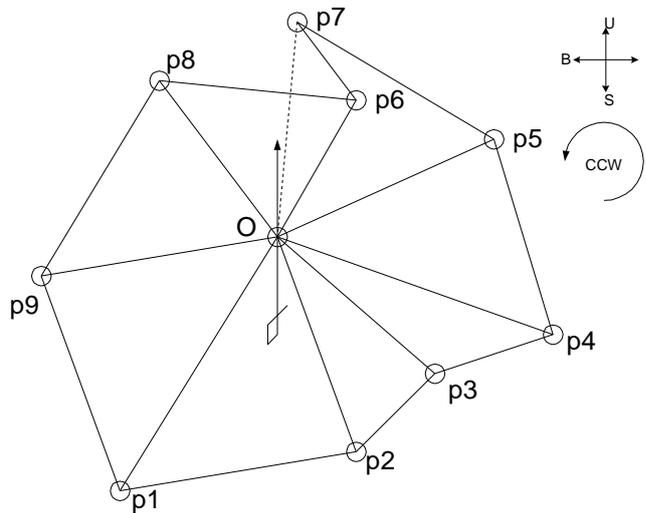
Catatan :

- Jika faktor koreksi untuk sudut heling searah jarum jam (minus) menambah hasil pengukuran maka faktor koreksi tersebut diberi tanda minus, dan sebaliknya jika mengurangi hasil pengukuran maka diberi tanda plus.
- Jika faktor koreksi untuk sudut heling berlawanan jarum jam (plus) menambah hasil pengukuran maka faktor koreksi tersebut diberi tanda minus, dan sebaliknya jika mengurangi hasil pengukuran maka diberi tanda plus.

Algoritma Perhitungan Luas dengan Metode Poligon Terbuka

Algoritma perhitungan luas Poligon Terbuka pada skripsi ini dibatasi hanya untuk perhitungan luas Poligon Terbuka dengan 1 titik referensi. Algoritma perhitungan luas areal dengan metode Poligon Terbuka ini terbagi atas tiga bagian yaitu proses perhitungan luas tanah, perhitungan faktor koreksi azimuth, dan algoritma penggambaran luas areal pengukuran tahap awal untuk pengukuran Poligon Terbuka.

Gambar 12 adalah contoh tanah yang diukur menggunakan Metode Poligon Terbuka dengan 9 buah titik batas luar dan titik O sebagai titik awal. Tiap titik pengukuran p_i memiliki ketinggian yang bervariasi dan luas tanah didefinisikan sebagai luas pada bidang horizontal yang dibatasi titik p_i tersebut.



Gambar 12. Poligon Terbuka Berlawanan Arah Jarum Jam (CCW)

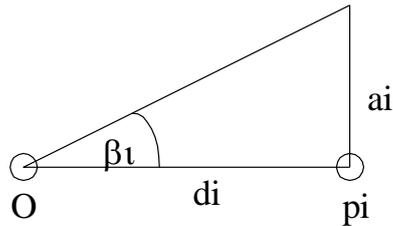
Proses Perhitungan Luas Poligon Terbuka untuk Pengukuran Searah dan Berlawanan Jarum Jam

Perhitungan luas areal metode Poligon Terbuka untuk pengukuran searah dan berlawanan jarum jam menggunakan rumus dan langkah-langkah algoritma yang sama. Perbedaan terletak pada hasil akhir luas total, untuk pengukuran searah jarum jam luas total akan bernilai negatif. Untuk itu nilai luas total pada pengukuran Poligon Terbuka searah jarum jam harus dimutlakkan supaya bernilai positif.

Langkah-langkah dalam perhitungan luas areal untuk Poligon Terbuka dapat dilihat di bawah ini :

1. Pertama-tama dari sebuah titik awal (O) diperoleh hasil berupa sudut heling (β_i), azimuth (α_i), dan jarak proyeksi (a_i) dengan $i = 1$, maka hitung jarak horisontal (d_i) tersebut. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 13 dan 14.

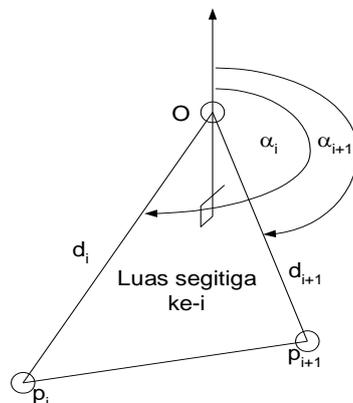
$$d_i = \frac{a_i}{\tan(\beta_i)} \dots\dots\dots (11)$$



Gambar 13. Jarak Proyeksi, Jarak Horizontal & Sudut Heling

2. Setelah itu selanjutnya diperoleh titik pengukuran berikutnya berupa sudut heling (β_{i+1}), azimuth (α_{i+1}), dan jarak proyeksi (a_{i+1}), kemudian hitung jarak horizontal titik tersebut (d_{i+1}).
3. Setelah diperoleh d_i dan d_{i+1} , α_i dan α_{i+1} , maka luas segitiga (L_i) dapat dihitung.

$$L_i = 0.5 \times d_i \times d_{i+1} \times \sin(\alpha_i - \alpha_{i+1}) \dots\dots\dots (12)$$



Gambar 14. Luas Segitiga ke-i

4. Langkah berikutnya setelah semua luas segitiga selesai dihitung adalah menghitung luas total (L_t) dimana L_t adalah penjumlahan dari luas segitiga ke-i dengan luas total sebelumnya.
5. Setelah menghitung luas total, langkah selanjutnya adalah :
 - a. Jika pengukuran sudah mencapai titik terakhir maka algoritma pengukuran luas areal ini telah selesai dengan luas total pada point empat (4). Jika luas total yang didapat merupakan angka negatif, hal ini dikarenakan adanya pengukuran dilakukan searah arah jarum jam, maka luas total areal hasil pengukuran harus dimutlakan untuk mendapatkan hasil yang positif.
 - b. Jika pengukuran bukan merupakan titik terakhir pengukuran maka lakukan titik pengukuran selanjutnya yaitu $i = i+1$ dengan kembali ke point dua (2).

Proses Perhitungan Faktor Koreksi untuk Poligon Terbuka

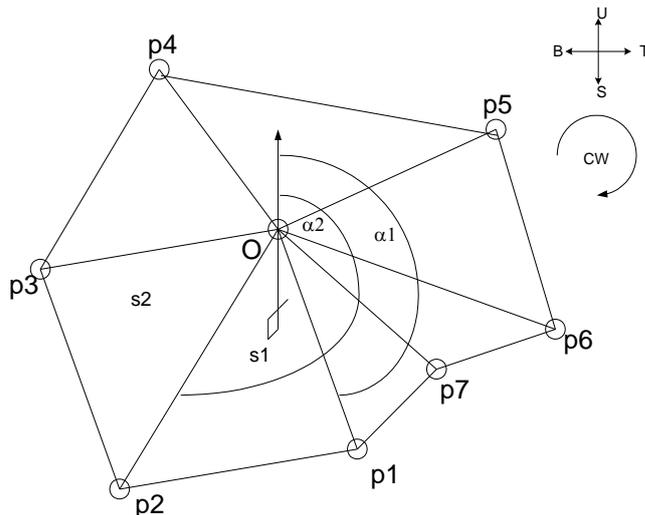
Pada Poligon Terbuka koreksi perlu dilakukan jika azimuth pengukuran awal dan pengukuran akhir tidak sama. Proses perhitungan faktor koreksi Poligon Terbuka untuk pengukuran searah dan berlawanan arah jarum jam menggunakan langkah-langkah proses perhitungan yang sama, perbedaan yang ada hanya pada rumus-rumus yang digunakan.

Langkah-langkah untuk menghitung faktor koreksi azimuth Poligon Terbuka adalah sebagai berikut :

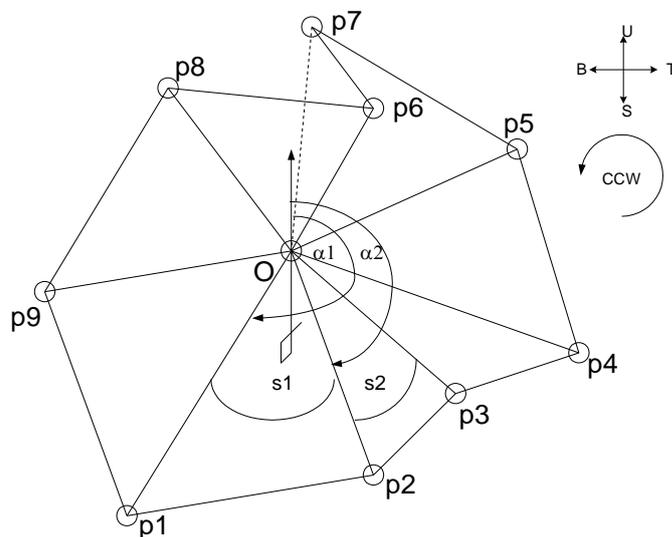
1. Pertama-tama diperoleh n titik hasil pengukuran. Titik pengukuran ke-n sama dengan titik pengukuran yang pertama.
2. Setelah diperoleh titik-titik hasil pengukuran, langkah selanjutnya adalah mencari selisih azimuth (s_i), dengan $i = 1, 2, \dots, n$. Jika pengukuran

dilakukan searah jarum jam, maka selisih azimuth adalah selisih antara azimuth ke- $i+1$ (α_{i+1}) dan azimuth ke- i (α_i) hasil pengukuran. Lihat gambar 15. Jika pengukuran dilakukan berlawanan arah jarum jam, maka selisih azimuth adalah selisih antara azimuth ke- i (α_i) dan azimuth ke- $i+1$ (α_{i+1}) hasil pengukuran. Lihat gambar 16.

3. Kemudian setelah diperoleh s_i , langkah selanjutnya adalah mencari s_t , yaitu total penjumlahan dari s_i . Jika s_t tidak sama dengan 0° maka sudut azimuth harus dikoreksi.
4. Faktor koreksi (k) yaitu total penjumlahan dari s_i (s_t) dibagi dengan banyaknya titik hasil pengukuran kurang satu ($n-1$).



Gambar 15. Selisih Azimuth (s_i) Poligon Terbuka CW



Gambar 16. Selisih Azimuth (s_i) Poligon Terbuka CCW

5. Setelah menghitung faktor koreksi langkah berikutnya adalah melakukan koreksi pada azimuth titik ke- i (α_i). Jika pengukuran poligon terbuka dilakukan searah jarum jam, maka koreksi pada azimuth titik ke- i (α_i) yaitu dengan mengurangi azimuth titik tersebut dengan faktor koreksinya, di mana faktor koreksinya itu harus kumulatif dari titik pengukuran awal. Jika pengukuran poligon terbuka dilakukan berlawanan arah jarum jam, maka koreksi pada azimuth titik ke- i (α_i)

yaitu dengan menjumlahkan azimuth titik tersebut dengan faktor koreksinya, di mana faktor koreksinya itu harus kumulatif dari titik pengukuran awal

Algoritma Penggambaran Luas Pengukuran Tahap Awal pada Pengukuran Poligon Terbuka

Setelah perhitungan luas dan koreksi selesai dilakukan, langkah berikutnya adalah melakukan penggambaran luas areal pengukuran tahap awal. Penggambaran luas tahap awal ini perlu dilakukan untuk memberi gambaran kepada pengguna (*user*) bentuk areal yang diukur tahap awal dalam bentuk dua dimensi. Algoritma penggambaran luas areal untuk Poligon Terbuka sama untuk pengukuran searah dan berlawanan jarum jam.

Langkah-langkah untuk penggambaran luas areal tahap awal untuk Poligon Terbuka dapat dilihat di bawah ini :

1. Dari hasil pengukuran dan perhitungan sebelumnya diperoleh data-data berupa jarak horizontal (d_i) jarak proyeksi (a_i) dan juga azimuth (α_i) sebanyak n titik poligon, dan titik origin (0,0).
2. Setelah itu langkah berikutnya adalah menghitung koordinat titik-titik (x_i, y_i) terhadap titik origin (0,0) dalam koordinat Kartesian, di mana (x_i, y_i) adalah koordinat (x, y) titik pengukuran ke- i .
$$x_i = d_i \cos (90-\alpha_i) \dots\dots\dots(13)$$
$$y_i = d_i \sin (90-\alpha_i) \dots\dots\dots(14)$$
3. Karena penggambaran dilakukan di layar monitor yang berskala *pixels* dan nilai *pixels* tidak mengenal negatif maka semua nilai koordinat (x, y) harus positif. Dari koordinat (x, y) yang telah dihitung langkah selanjutnya adalah mengubah semua koordinat (x, y) menjadi positif. Pertama-tama yang dilakukan adalah mencari koordinat x dan y yang paling minimum dan maksimum. Setelah itu nilai x dan y yang paling minimum tersebut ditambah ke semua koordinat x dan y hasil perhitungan sebelumnya.
4. Kemudian langkah berikutnya adalah penggambaran luas tahap awal. Untuk pengukuran poligon terbuka garis yang digambar adalah garis yang berasal dari titik awal pengukuran (dari titik O ke titik p_i), kemudian garis berikutnya adalah garis dari p_i ke p_{i+1} .

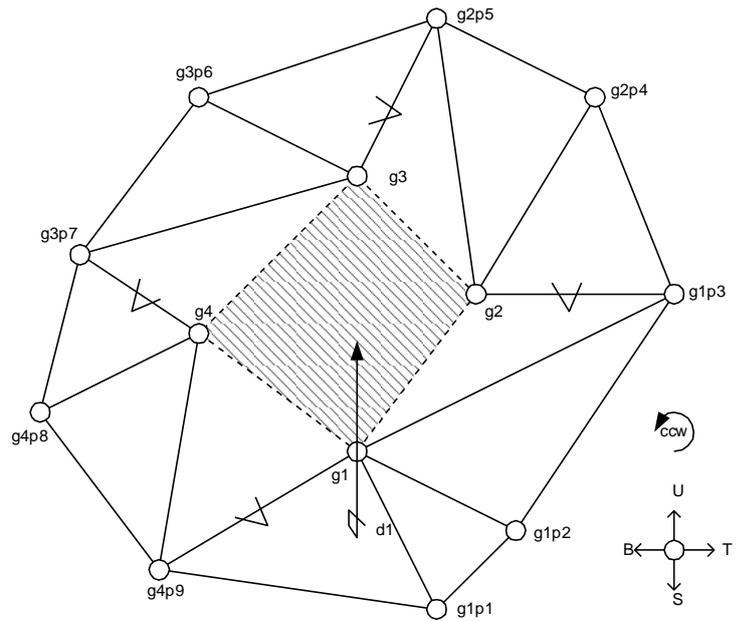
Algoritma Perhitungan Luas dengan Metode Poligon Tertutup

Algoritma perhitungan luas areal dengan metode Poligon Tertutup ini terbagi atas tiga bagian yaitu proses perhitungan luas tanah, perhitungan faktor koreksi, dan algoritma penggambaran luas areal pengukuran tahap awal untuk pengukuran Poligon Tertutup.

Pada gambar 17 dapat dilihat contoh areal yang memakai Poligon Tertutup berlawanan arah dalam pengukurannya. Pada gambar terlihat tanda $<$ yang berarti bahwa garis tersebut tidak terukur dalam pengukuran tapi dapat diketahui dari perhitungan.

Proses Perhitungan Luas Poligon Tertutup untuk Pengukuran Searah dan Berlawanan Jarum Jam

Untuk proses perhitungan luas areal sendiri akan dibagi dalam dua bagian, yaitu perhitungan luas segitiga luar, perhitungan luas poligon dalam, dan perhitungan luas total daerah pengukuran. Pada gambar 17 yang dimaksud luas segitiga luar yaitu luas daerah yang tidak diarsir dan luas poligon dalam adalah luas daerah yang diarsir.

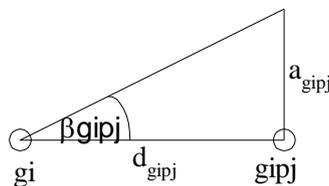


Gambar 17. Poligon Tertutup Berlawanan Arah Jarum Jam (CCW)

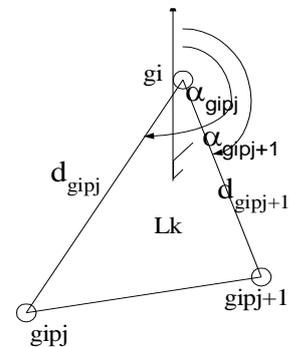
Perhitungan Luas Segitiga Luar

Langkah-langkah dalam perhitungan luas segitiga luar Poligon Tertutup dapat dilihat di bawah ini :

1. Pertama-tama dari titik poligon (g_i) ke titik batas areal (g_{ipj}) diperoleh hasil pengukuran berupa sudut heling ($\beta_{g_{ipj}}$), azimuth ($\alpha_{g_{ipj}}$), dan jarak proyeksi ($a_{g_{ipj}}$), dengan $i = 1, 2, 3, \dots, m$ dan $j = 1, 2, 3, \dots, n$, kemudian hitung jarak horisontal ($d_{g_{ipj}}$). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 18 dan 19.



Gambar 18. Jarak Horizontal

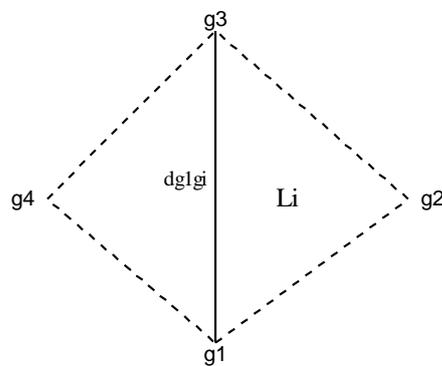


Gambar 19. Luas Segitiga ke-k

2. Setelah itu selanjutnya diperoleh titik pengukuran berikutnya yaitu :
Jika berupa titik batas areal, maka hasil pengukurannya berupa sudut heling ($\beta_{g_{ipj+1}}$), azimuth ($\alpha_{g_{ipj+1}}$), dan jarak proyeksi ($a_{g_{ipj+1}}$). Kemudian hitung jarak horisontal ($d_{g_{ipj+1}}$), setelah itu ke langkah 3. Jika berupa titik poligon $g_{i-1}g_i$ yang merupakan titik poligon ke- i yang diukur dari titik poligon sebelumnya, maka hasil pengukurannya berupa sudut heling ($\beta_{g_{i-1}g_i}$), azimuth ($\alpha_{g_{i-1}g_i}$), dan jarak proyeksi ($a_{g_{i-1}g_i}$). Kemudian hitung jarak horisontal ($d_{g_{i-1}g_i}$), setelah itu ke langkah 5.
3. Setelah diperoleh $d_{g_{ipj}}$ dan $d_{g_{ipj+1}}$, $\alpha_{g_{ipj+1}}$ dan $\alpha_{g_{ipj}}$, maka luas segitiga (L_k) dapat dihitung, di mana $k = 1, 2, 3, \dots, r$.
4. Langkah berikutnya setelah luas segitiga selesai dihitung adalah menghitung luas total (L_t) dimana L_t adalah penjumlahan dari luas segitiga ke- i dengan luas total sebelumnya, kemudian kembali ke langkah 2.

5. Setelah diperoleh $dg_{i-1}g_i$, $dg_{i-1}p_i$, $\alpha_{g_{i-1}g_i}$, dan $\alpha_{g_{i-1}p_i}$, maka luas segitiga (L_i) dapat dihitung.
6. Langkah berikutnya setelah luas segitiga selesai dihitung adalah menghitung luas total (L_t) dimana L_t adalah penjumlahan dari luas segitiga ke- i dengan luas total sebelumnya, kemudian kembali ke langkah 8.
7. Hitung jarak horizontal ($dg_i p_i$) dan azimuth ($\alpha_{g_i p_i}$) dari titik poligon tersebut ke titik batas luar daerah sebelumnya, kemudian kembali ke langkah 2.
8. Langkah terakhir adalah: Jika poligon belum tertutup dan pengukuran poligon belum kembali ke titik poligon awal, maka langkah selanjutnya adalah kembali ke langkah 2. Jika poligon sudah tertutup dan pengukuran poligon sudah kembali ke titik poligon awal, maka langkah selanjutnya adalah menghitung luas segitiga terakhir (L_r), kemudian hitung luas total segitiga luar (L_t).

Perhitungan Luas Poligon Dalam



Gambar 20. Poligon Dalam

Langkah-langkah dalam perhitungan luas poligon dalam Poligon Tertutup dapat dilihat di bawah ini:

1. Diketahui data-data poligon dari hasil pengukuran dan perhitungan sebelumnya berupa jarak horizontal dan azimuth titik-titik poligon tersebut, yaitu :
 Jarak horizontal $dg_{i-1}g_i$, $dg_i g_{i+1}$, ..., $dg_{n-1}g_n$, dan $dg_n g_1$, $i = 2$.
 Azimuth $\alpha_{g_{i-1}g_i}$, $\alpha_{g_i g_{i+1}}$, ..., $\alpha_{g_{n-1}g_n}$, dan $\alpha_{g_n g_1}$, $i = 2$.
2. Kemudian hitung jarak horizontal ($dg_1 g_i$) dan azimuth ($\alpha_{g_1 g_i}$) masing-masing titik poligon dari titik poligon awal, mulai dari titik ke-3 ($i_1 = 3$) sampai titik poligon terakhir $g_1 g_n$, lihat gambar 20.
3. Setelah itu hitung luas segitiga poligon (L_i), $i_1 = 3$.
4. Langkah berikutnya setelah luas segitiga poligon selesai dihitung adalah menghitung luas total segitiga poligon (L_t) dimana L_t adalah penjumlahan dari luas segitiga ke- i dengan luas total sebelumnya.

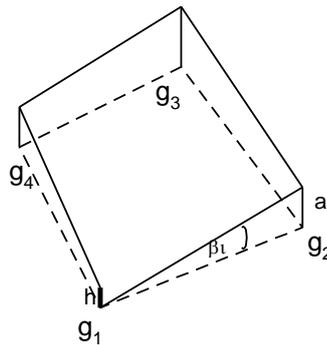
Perhitungan Luas Total Daerah Pengukuran

Setelah luas segitiga luar dan poligon dalam selesai dihitung, langkah berikutnya adalah menghitung luas total daerah pengukuran (L_{td}). Luas total daerah pengukuran (L_{td}) yaitu penjumlahan luas total segitiga luar dengan luas total poligon.

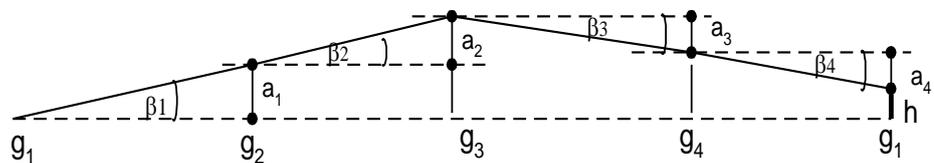
Proses Perhitungan Faktor Koreksi untuk Poligon Tertutup

Pada Poligon Tertutup koreksi perlu dilakukan jika terdapat perbedaan antara ketinggian titik awal pengukuran jarak proyeksi dengan titik terakhir pengukuran. Proses perhitungan faktor koreksi Poligon Tertutup untuk pengukuran searah dan berlawanan jarum jam adalah sama.

Gambar poligon dalam untuk perhitungan faktor koreksi Poligon Tertutup dapat dilihat pada gambar 21.



Gambar 21. Kesalahan Jarak Proyeksi Poligon Tertutup



Gambar 22. Perbedaan Ketinggian

Langkah-langkah untuk menghitung faktor koreksi Poligon Tertutup dapat dilihat di bawah ini :

1. Pertama-tama diperoleh n titik poligon dalam hasil pengukuran.
2. Kemudian jarak proyeksi poligon dalam ditotalkan, diperoleh adanya perbedaan antara ketinggian titik awal poligon a_1 dengan jarak proyeksi titik pengukuran terakhir poligon a_n yaitu beda ketinggian (h), di mana $a_1 = a_n$. Dapat dilihat pada gambar 21 dan 22.

$$h = a_1 + a_2 + \dots + a_n$$

Jika $h = 0$ maka tidak perlu dilakukan koreksi.

Jika $h \neq 0$ maka perlu dilakukan koreksi.

3. Langkah selanjutnya adalah penjumlahan mutlak sudut heling seluruh titik pengukuran poligon dalam tersebut dari β_i sampai β_n

$$\sum |\beta_i|$$

Sudut heling perlu dimutlakan karena nilai negatif dari sudut heling hanya menunjukkan arah pengukuran bukan besarnya.

4. Kemudian dilakukan koreksi pada jarak proyeksi titik ke- i (a_i) yaitu dengan mengurangi jarak proyeksi titik tersebut dengan perkalian antara perbedaan ketinggian (h) dengan perbandingan mutlak sudut heling titik tersebut $\frac{|\beta_i|}{\sum |\beta_i|}$ dengan mutlak total penjumlahan sudut heling $\sum |\beta_i|$

Algoritma Penggambaran Luas Pengukuran tahap awal untuk Pengukuran Poligon Tertutup

Setelah perhitungan luas dan koreksi selesai dilakukan, langkah berikutnya adalah melakukan penggambaran luas areal pengukuran tahap awal. Penggambaran luas tahap awal ini perlu dilakukan untuk memberi gambaran kepada pengguna (*user*) bentuk areal yang diukur tahap awal dalam bentuk dua dimensi. Algoritma penggambaran luas areal untuk Poligon Tertutup sama untuk pengukuran searah dan berlawanan arah jarum jam.

Langkah-langkah untuk penggambaran luas areal tahap awal untuk Poligon Terbuka dapat dilihat di bawah ini :

1. Dari hasil pengukuran dan perhitungan sebelumnya diperoleh data-data berupa jarak horizontal (d) jarak proyeksi (a_i) dan juga azimut (α_i) sebanyak n titik poligon dan m titik segitiga luar.
2. Hitung koordinat titik-titik tersebut terhadap titik origin (0,0) dalam koordinat Kartesian:
 $x_i = x_o + d_i \cos (90-\alpha_i) \dots\dots\dots(15)$
 $y_i = y_o + d_i \sin (90-\alpha_i) \dots\dots\dots(16)$
 dimana :
 x_i = koordinat x titik pengukuran ke-i.
 y_i = koordinat y titik pengukuran ke-i.
 x_o = koordinat x awal titik pengukuran ke-i.
 y_o = koordinat y awal titik pengukuran ke-i.
3. Karena penggambaran dilakukan di layar monitor yang berskala *pixels* dan nilai *pixels* tidak mengenal negatif maka semua nilai koordinat (x,y) harus positif. Dari koordinat (x,y) yang telah dihitung langkah selanjutnya adalah mengubah semua koordinat (x,y) menjadi positif. Pertama-tama yang dilakukan adalah mencari koordinat x dan y yang paling minimum dan maksimum. Setelah itu nilai x dan y yang paling minimum tersebut ditambah ke semua koordinat x dan y hasil perhitungan sebelumnya.
4. Kemudian langkah berikutnya adalah penggambaran luas tahap awal. Untuk pengukuran poligon tertutup garis yang digambar adalah garis dari g_i ke g_{i+1} , kemudian dari g_i ke p_i dan garis dari p_i ke p_{i+1} .

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Algoritma pengolahan data untuk Poligon Tertutup dapat digunakan untuk menghitung pengukuran dengan metode Poligon Tertutup searah dan berlawanan arah jarum jam. Dengan adanya program perhitungan luas tanah, proses perhitungan dapat dilakukan dengan cepat dan mendekati hasil sebenarnya.

Saran

Algoritma pengolahan data untuk Poligon Terbuka perlu dikembangkan untuk Poligon Terbuka dengan lebih dari satu titik poligon searah dan berlawanan arah jarum jam. Pengembangan perangkat lunak (*software*) perlu dibuat untuk mempermudah aplikasi.

REFERENSI

- Bouchard, Harry, and Francis H. Moffit. *Surveying*. 7th Edition. New York: Harper & Row, Publisher, Inc. 1982
- Brinker, Russell C., and, Paul R. Wolf. *Elementary Surveying*. 8th Edition. New York: Harper & Row, Publisher, Inc., 1989.
- Calter, Paul. *Technical Mathematics with Calculus*. 3rd Edition. New Jersey: Prentice Hall, 1995.
- Djonoputro, B. D. *Teori Ketidakpastian (Menggunakan Satuan SI)*. Terbitan Kedua. Bandung: Penerbit ITB, 1984.
- Evet, Jack B. *Surveying*. Canada: John Wiley & Sons, 1979.
- Nakamura, Shoichiro. *Applied Numerical Methods in C*. New Jersey: Prentice Hall, 1993.
- Purcell, Edwin J., Dale Varberg, and Steven E. Rigdon. *Calculus*. 8th edition. New Jersey: Addison Wesley, 2003.
- Wongsojitro, Soetomo. *Ilmu Ukur Tanah*. Jakarta: Penerbit Yayasan Kanisius, 1980.