

**ANALISIS DESAIN JARING GNSS BERDASARKAN FUNGSI PRESISI
(STUDI KASUS : TITIK GEOID GEOMETRI KOTA SEMARANG)**

Reza Nur Hidayat^{*)}, L M Sabri, Moehammad Awaluddin

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : rzanurhidayat@gmail.co.id

ABSTRAK

Salah satu tahapan untuk mendapatkan jaring GNSS yang optimal adalah melakukan desain jaring. Terdapat empat tahapan dalam desain jaring GNSS yaitu *Zero Order Design*, *First Order Design*, *Second Order Design*, dan *Third Order Design*. *First Order Design* merupakan desain jaring untuk mendapatkan bentuk geometri jaring GPS yang optimal. Pada *First Order Design* terdapat 2 kriteria untuk menentukan tingkat optimal jaring yaitu presisi dan kehandalan, penelitian ini berfokus pada analisis desain jaring dari fungsi presisi. Penelitian ini menggunakan pengukuran GNSS metode *rapid static* yang dilakukan pada 20 titik geoid dan geometri di Kota Semarang. Titik control yang digunakan dalam pengukuran ini adalah titik GRAV 11, CORS BIG Kota Semarang, dan CORS Universitas Diponegoro. Penelitian ini dilakukan dengan mendesain lima buah jaring pengukuran GNSS untuk kemudian dihitung tingkat presisi jaring dari nilai simpangan baku dan fungsi presisinya. Desain jaring yang optimum dari segi presisi dilihat dari nilai kriteria yang dimiliki dimana jaring dikatakan lebih optimum dari segi presisi jika nilai simpangan baku dan fungsi presisinya semakin kecil. Desain jaring yang paling presisi berdasarkan analisis fungsi presisi dan standar deviasi adalah desain jaring nomor 1 dengan jumlah baseline 60. Desain jaring nomor 1 memiliki nilai fungsi tujuan akurasi *A-optimality* paling kecil 17,6095 yang menggunakan *baseline* paling banyak dan desain jaring nomor 1 memiliki nilai fungsi tujuan akurasi *E-optimality* 4,6567, ini menunjukkan bahwa desain jaring nomor 1 memiliki jaring yang paling isotropik. Desain jaring nomor 1 memiliki nilai standar deviasi paling kecil sebesar 0,03845m dibanding dengan desain lainnya, hal ini menunjukkan desain jaring 1 merupakan desain jaring paling presisi.

Kata Kunci: GNSS, Jaring, Presisi

ABSTRACT

One of the steps to getting the optimal GNSS net design is designing its net. There are four stages to designing GNSS net, there are Zero Order Design, First Order Design, Second Order Design, and Third Order Design. First Order Design is a design to get the optimal form of geometry. In First Order Design there are two criteria to determine the optimal level of polygon, namely precision and reliability, this research focuses on analyzing polygon design from precision functions. This research is a used GNSS rapid static method which is carried out on 20 geoid and geometry points in Semarang City. The control points used in this measurement are GRAV 11, CORS BIG Semarang City, and CORS of Diponegoro University. This research was conducted by designing five GNSS net design then calculate the precision level of the standard deviation value and precision function. The optimum design in terms of precision is seen from the value of the criteria in which its design is said to be more optimum in terms of precision if the standard deviation values and precision functions are getting smaller. The most precise design based on precision function analysis and standard deviation is number 1 net design with 60 baseline. Design number 1 has the smallest precision function value A-optimality 17.6095 which uses the most baseline and design number 1 has function value of E-optimality is 4.6567, this indicates that the design 1 has the most isotropic net. Design number 1 has the smallest standard deviation value of 0.03845m compared to other designs, this shows that the net 1 design is the most precise design.

Keywords: GNSS, Polygon, Precision

^{*)}Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Salah satu tahapan dalam pengadaan jaring kontrol GNSS adalah desain jaring. Desain jaring digunakan untuk mendapatkan jaring yang optimal. Terdapat empat tahapan dalam desain jaring GNSS yaitu *Zero Order Design*, *First Order Design*, *Second Order Design*, dan *Third Order Design* (Waljiyanto, 2015). *Zero Order Design* adalah optimasi dalam memilih sistem referensi yang optimum. *First Order Design* adalah optimasi dalam memilih lokasi stasiun sehingga membentuk geometri yang optimum. *Second Order Design* adalah optimasi dalam memilih pengamatan yang akan dilakukan dan dengan tingkat kepresisian yang diharapkan. *Third Order Design* adalah optimasi untuk meningkatkan jaring yang telah ada. Penelitian ini mengkaji optimasi desain yang didasarkan pada *First Order Design*.

Tahap *First Order Design* dalam survey GNSS memiliki 2 kriteria untuk menentukan tingkat presisi keoptimuman jaring yaitu presisi dan kehandalan. Ditinjau dari kriteria presisi terdapat 5 kriteria presisi yaitu *A-Optimality*, *D-Optimality*, *E-Optimality*, *S-Optimality*, dan *I-Optimality*. Jaring dikatakan lebih optimum dari segi presisi jika nilainya semakin kecil (Yalcinkaya, 2012).

A-Optimality adalah optimasi jaring yang didasarkan pada penjumlahan dari nilai-nilai *eigen* (*trace*) pada matriks kofaktor parameter-parameter koordinat yang dihasilkan. Kriteria *A-Optimality* ini menunjukkan tingkat kehomogenan jaring. Jaring yang homogen berarti jaring tersebut memiliki *baseline* dengan panjang yang relatif sama. *D-Optimality* adalah optimasi jaring yang didasarkan pada hasil perkalian atau determinan dari nilai *eigen* pada matriks kofaktor parameter-parameter koordinat yang dihasilkan. *E-Optimality* adalah optimasi jaring yang didasarkan pada nilai maksimum dari nilai *eigen* pada matriks kofaktor parameter-parameter koordinat yang dihasilkan. Nilai *E-Optimality* menunjukkan tingkat presisi terendah jaring. *S-Optimality* adalah optimasi jaring yang didasarkan pada selisih antara nilai tertinggi dari nilai *eigen* pada matriks kofaktor parameter-parameter koordinat yang dihasilkan dengan nilai *eigen* terendahnya. *I-Optimality* adalah optimasi jaring yang didasarkan pada selisih antara satu dengan nilai *eigen* terendahnya dibagi dengan nilai *eigen* terendahnya.

Penelitian ini berusaha mengkaji desain jaring yang optimum ditinjau dari geometri jaring. Desain jaring didesain dalam 5 bentuk geometri, mulai dari yang relatif sederhana sampai ke yang paling kompleks. Perubahan bentuk geometri dari yang sederhana ke yang lebih kompleks dilakukan dengan penambahan *baseline*. Berdasarkan kelima bentuk desain tersebut kriteria optimum dilakukan dengan menggunakan kriteria presisi dan kehandalan. Kriteria presisi menggunakan 5 kriteria presisi yaitu *A-Optimality*, *D-Optimality*, *E-Optimality*, *S-Optimality*, dan *I-Optimality*. Semua desain jaring ini dibuat di atas citra Google Earth dengan mengambil lokasi di wilayah Kota Semarang.

I.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana bentuk desain jaring yang paling presisi berdasarkan nilai standar deviasi dan fungsi presisi untuk pengukuran survei GNSS yang dilakukan di titik geoid geometri di Kota Semarang?
2. Bagaimana hubungan antara nilai simpangan baku dengan nilai fungsi presisi desain jaring GNSS?
3. Bagaimana dampak penambahan *baseline* pada jaring terhadap semua kriteria presisi pada desain jaring pengukuran GNSS?

I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Diperolehnya cara mendesain jaring GNSS yang optimum ditinjau dari geometri jaring berdasarkan kriteria presisi (*A-Optimality*, *D-Optimality*, *E-Optimality*, *S-Optimality*, dan *I-Optimality*) dengan studi kasus titik geoid geometri Kota Semarang.
2. Diperolehnya analisis hubungan antara nilai simpangan baku dengan nilai fungsi presisi desain jaring hasil ukuran survei GNSS dengan studi kasus titik geoid geometri Kota Semarang.
3. Diperolehnya analisis dampak penambahan *baseline* pada jaring terhadap semua kriteria presisi pada desain jaring pengukuran GNSS dengan studi kasus titik geoid geometri Kota Semarang.

I.4. Batasan Masalah

Penelitian ini diberi batasan masalah agar bahasan tidak terlalu jauh dari kajian masalah. Berikut ini adalah batasan masalah dalam penelitian ini :

1. Lokasi penelitian ini dilakukan di titik geoid geometri Kota Semarang, Provinsi Jawa Tengah.
2. Metode hitungan yang digunakan untuk estimasi koordinat adalah hitung kuadrat terkecil metode parameter.
3. Analisis presisi jaring menggunakan kriteria *A-Optimality*, *D-Optimality*, *E-Optimality*, *S-Optimality*, dan *I-Optimality*.
4. Titik referensi hitungan adalah titik GRAV11 yang berlokasi di BSB Kota Semarang, titik CSEM yang berlokasi di daerah kalibanteng, CORS UDIP yang berada di Kampus Teknik Geodesi Undip. Ketiga titik referensi tersebut kemudian diukur sesuai dengan petunjuk teknis pengukuran orde 2 yang disesuaikan SNI yang dikeluarkan BIG.
5. Bobot yang digunakan merupakan jarak antara 2 titik pengukuran atau dapat disebut dengan panjang *baseline*.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Wijayatmo (2011) melakukan kajian tentang ketelitian koordinat serta

kehandalan jaring kontrol horisontal untuk melakukan monitoring Waduk Sermo dengan 3 bentuk desain jaring. Hasil dari penelitian ini menjelaskan bahwa ketelitian koordinat dan kehandalan jaring berbeda antara desain satu dengan yang lainnya. Ketelitian terbaik dari titik BM 5 berada pada desain 3. Simpangan baku terkecil dari desain 3 menandakan bahwa ketelitian yang dihasilkan baik. Ketelitian koordinat, rata-rata nilai *circular error*, serta nilai rata-rata kehandalan dalam lokal dan nilai rata-rata kehandalan luar lokal desain 3 merupakan desain yang direkomendasikan untuk digunakan dalam pengamatan deformasi pada Waduk Sermo. Desain 3 adalah desain yang seperti pada desain pertama dengan menghilangkan ukuran yang membentuk segitiga dengan sudut yang sangat lancip.

Aulia (2014) melakukan kajian ketelitian dan kekuatan jaring menggunakan kriteria optimasi ditinjau dari tingkat kepresisiannya dengan cara *N-optimality*, *Eoptimality*, *S-optimality*, dan *D-optimality* pada Waduk Sermo. Berdasarkan analisis optimasi jaring dengan kriteria kepresisian terhadap kedua desain jaring kontrol, diperoleh hasil desain 2 proses ketujuh memiliki tingkat kualitas dan kekuatan jaring paling tinggi, serta merupakan desain jaring yang paling optimal. Hal tersebut terjadi karena dilakukan penyederhanaan dari bentuk desain 1 dengan mengurangi ukuran lebih (*redundancy*) sudut dan jarak yang memiliki ketelitian ukuran yang rendah pada setiap titiknya. Nilai dari parameter optimasi kriteria kepresisian desain 2 proses ketujuh adalah *A-optimality* = 0,0081, *N-optimality* = 0,0053, *Soptimality* = 0,0052, *D-optimality* = 1,5685E-52.

II.2 GNSS

GNSS (*Global Satellite Navigation System*) merupakan suatu istilah yang digunakan untuk mencakup seluruh sistem satelit navigasi global yang sudah beroperasi ataupun sedang dalam perencanaan. Sinyal-sinyal yang ditransmisikan oleh satelit GNSS tersebut masih memiliki kesalahan dan tidak selalu sesuai dengan kenyataan yang ada. Sehingga harus dilakukan monitoring dari akurasi, ketersediaan, kontinuitas, dan integritas dari sinyal-sinyal tersebut menggunakan titik-titik referensi yang terdapat di permukaan bumi. Segmen angkasa. Untuk memberikan kemampuan secara kontinyu penentuan posisi global, maka harus dikembangkan konstelasi jumlah satelit untuk masing-masing GNSS. Hal ini untuk memastikan bahwa setidaknya empat satelit secara simultan terlihat pada setiap lokasi di permukaan bumi. Satelit-satelit GNSS, pada dasarnya telah dilengkapi dengan platform untuk jam atom, *radio transceiver*, komputer dan berbagai peralatan pembantu yang digunakan untuk mengoperasikan sistem. Menurut (Abidin,2002) Segmen kerja pada GNSS terbagi menjadi 3 macam yaitu :

1. Segmen angkasa. Segmen angkasa GNSS terdiri dari beberapa satelit GNSS. Satelit ini bisa dianalogikan sebagai stasiun radio luar angkasa

yang dilengkapi dengan banyak antena untuk mengirim dan menerima sinyal gelombang. Sinyal-sinyal tersebut kemudian selanjutnya akan diterima oleh *receiver* di bumi dan digunakan untuk menentukan informasi posisi, kecepatan waktu, serta parameter-parameter turunan lainnya.

2. Segmen sistem kontrol. Disebut juga sebagai segmen tanah atau darat, bertanggung jawab atas kendali semua sistem. Tugas segmen ini meliputi, penyebaran dan pemeliharaan sistem, pelacak satelit untuk penentuan dan prediksi orbit dan jam parameter, pemantauan data tambahan (misalnya, parameter ionosfer), dan meng-upload pesan ke satelit.
3. Segmen pengguna. Diklasifikasikan ke dalam kategori pengguna (militer dan sipil), jenis penerima (kemampuan untuk melacak satu, dua atau bahkan frekuensi lebih), dan berbagai layanan informasi pemerintah maupun swasta yang telah didirikan untuk memberikan informasi status GNSS dan data kepada pengguna.

II.2 Jaring GNSS

Pengukuran metode jaringan, memiliki geometri untuk penentuan posisi relatif yang lebih kuat. Dengan ketelitian posisi yang diperoleh relatif lebih tinggi juga kontrol kualitas relatif lebih baik dari 10 *baseline* bebas, namun kelemahan pada metode ini adalah pada waktu pengumpulan dan pengolahan data yang lebih lambat, jumlah *receiver* atau sesi pengamatan yang diperlukan lebih banyak, serta biaya yang lebih mahal (Aulia,2014). Jaring GNSS dibentuk oleh titik-titik yang diketahui koordinatnya (titik *fixed*) dan titik-titik yang akan ditentukan posisinya. Titik-titik tersebut dihubungkan dengan *baseline* yang diamati komponen-komponen vektornya (*dX*, *dY*, *dZ*). Distribusi titik-titik yang diukur secara relatif tidak akan terlalu mempengaruhi kualitas jaringan GNSS. Kualitas jaringan akan lebih dipengaruhi oleh distribusi *baseline trivial* yang digunakan (Abidin 2006).

II.3 Perataan Jaringan

Perataan jaringan GNSS umumnya dilakukan dalam dua tahap, yaitu perataan jaring bebas (*free network adjustment*) dan perataan jaring terikat (*constrained network adjustment*). Perataan jaring bebas dilakukan dengan hanya menggunakan satu titik tetap dan dimaksudkan untuk mengecek konsistensi data vektor *baseline*, satu terhadap lainnya (Yuwana,2013). Setelah melalui tahapan perataan jaring bebas dan kontrol kualitasnya, selanjutnya vektor-vektor *baseline* yang 'diterima' diproses kembali dalam perataan jaring terikat. Pada perataan ini semua titik tetap digunakan, dan koordinat titik-titik yang diperoleh dan sukses melalui proses kontrol kualitas akan dianggap sebagai koordinat yang final.

II.4 Simpangan Baku

Simpangan baku atau standar deviasi adalah nilai statistik yang dimanfaatkan untuk menentukan bagaimana sebaran data dalam sampel, serta seberapa dekat titik data individu ke mean atau rata-rata nilai sampel. Sebuah standar deviasi dari kumpulan data

sama dengan nol menandakan bahwa semua nilai dalam himpunan tersebut adalah sama, sedangkan nilai deviasi yang lebih besar menunjukkan bahwa titik data individu jauh dari nilai rata-rata (Mikhail,1981). Varian dan simpangan baku merupakan ukuran-ukuran variasi yang sering dipakai oleh semua orang. Dasar penghitungan varian dan simpangan baku merupakan tujuan untuk mengetahui variasi dari kelompok data.

II.5 Nilai Eigen

Menurut (Kuang,1996) jika A adalah matrik n x n, maka vektor tak nol x di dalam Rⁿ dinamakan vektor eigen dari A jika Ax adalah kelipatan skalar dari x, yaitu,

$$Ax = \lambda x \dots\dots\dots (II.1)$$

Skalar λ disebut nilai eigen dari A dan x dikatakan vektor eigen yang bersesuaian dengan λ . Persamaan $Ax=\lambda x$ mewajibkan:

1. Vektor tidak boleh nol, jika vektor adalah vektor nol, maka bukan vektor eigen.
2. Skalar λ harus bilangan riil, jika bilangan kompleks, maka λ bukan nilai eigen, karenanya dapat bernilai positif, negatif, maupun nol. Dalam mencari nilai eigen matriks A yang berukuran n x n maka persamaan (II.1) dituliskan kembali sebagai persamaan (II.2):

$$Ax = \lambda Ix \dots\dots\dots(II.2)$$

$$(\lambda I - A)x = 0 \dots\dots\dots(II.3)$$

. Istilah-istilah yang sering digunakan untuk menyatakan nilai eigen antara lain adalah trace dan norm. Seperti yang disajikan pada persamaan (II.3) trace adalah penjumlahan dari nilai-nilai eigen (λ) dari sebuah matriks. Norm adalah nilai maksimum dari nilai-nilai eigen sebuah matriks.

$$Trace = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots\dots + \lambda_n \dots\dots\dots(II.4)$$

$$Norm = \text{maksimum} [\lambda_1, \lambda_2, \dots\dots, \lambda_n] \dots\dots\dots(II.5)$$

Dalam hal ini,

$\lambda_1, \lambda_2, \dots\dots, \lambda_n$: nilai eigen matriks

II.6 Fungsi Presisi Jaring GNSS

Secara umum kriteria optimasi dilihat dari fungsi tujuan presisi didasarkan pada tingkat presisi pengukuran jaring geodesi. Tingkat presisi suatu jaring dapat diperoleh dari matriks varian-kovarian koordinat titik. Analisis optimasi fungsi skalar dari kriteria optimasi presisi yang digunakan yaitu A-optimality, D-optimality, E-optimality, S-optimality, dan I-optimality dari nilai eigen masing-masing proses.

1. A-optimality

A-optimality adalah optimasi jaring yang berdasarkan penjumlahan dari nilai-nilai eigen (λ) pada masing-masing proses perataan jaring atau sering disebut dengan istilah trace. Nilai trace dibandingkan dengan nilai trace pada jaring yang lain. Hasil dai rperbandingan nilai trace yang paling minimum dari nilai trace beberapa jaring berarti jaring tersebut memiliki tingkat optimal yang paling tinggi.

Menurut Kuang (1996) rumus untuk mencari A-optimality adalah sebagai berikut

$$Trace(Q_{XX}) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots\dots + \lambda_n = \text{minimum} \dots\dots\dots(II.1)$$

Dalam hal ini,

$\lambda_1, \lambda_2, \dots\dots, \lambda_n$: nilai eigen matriks Q_{XX}

Q_{XX} : matriks kofaktor ditentukan dengan persamaan (II.2) berikut :

$$Q_{XX} = (A^T P A)^{-1} \dots\dots\dots (II.2)$$

2. D-optimality

D-optimality adalah optimasi jaring yang berdasarkan hasil perkalian atau determinan dari nilai eigen pada proses perataan suatu jaring. Nilai D-optimality yang paling kecil pada suatu jaringan menunjukkan jaring tersebut memiliki tingkat optimum yang paling tinggi. Menurut Kuang (1996) rumus untuk mencari D-optimality adalah sebagai berikut :

$$Det(Q_{XX}) = \lambda_1 * \lambda_2 * \dots\dots * \lambda_n = \text{minimum} \dots\dots\dots(II.3)$$

3. E-optimality

E-optimality adalah optimasi jaring yang berdasarkan nilai maksimum dari nilai eigen pada proses perataan suatu jaring. Nilai E-optimality yang paling minimum dari suatu jaring yaitu berarti jaring tersebut memiliki tingkat optimum yang paling tinggi. Menurut Kuang (1996), rumus untuk mencari E-optimality adalah sebagai berikut :

$$[Q_{XX}] = \text{minimum} \dots\dots\dots(II.4)$$

Dalam hal ini, $[Q_{XX}]$: nilai norm dari matriks Q_{XX}

4. S-optimality

S-optimality adalah optimasi jaring yang berdasarkan selisih antara nilai tertinggi dari nilai eigen proses perataan suatu jaring dengan nilai eigen terendahnya. Nilai S-optimality yang kecil menunjukkan jaring tersebut memiliki tingkat optimum yang paling tinggi. Menurut Kuang (1996), rumus untuk mencari S-optimality adalah sebagai berikut :

$$(\lambda_{\text{mak}} - \lambda_{\text{min}}) = \text{minimum} \dots\dots\dots (II.5)$$

Dalam hal ini,

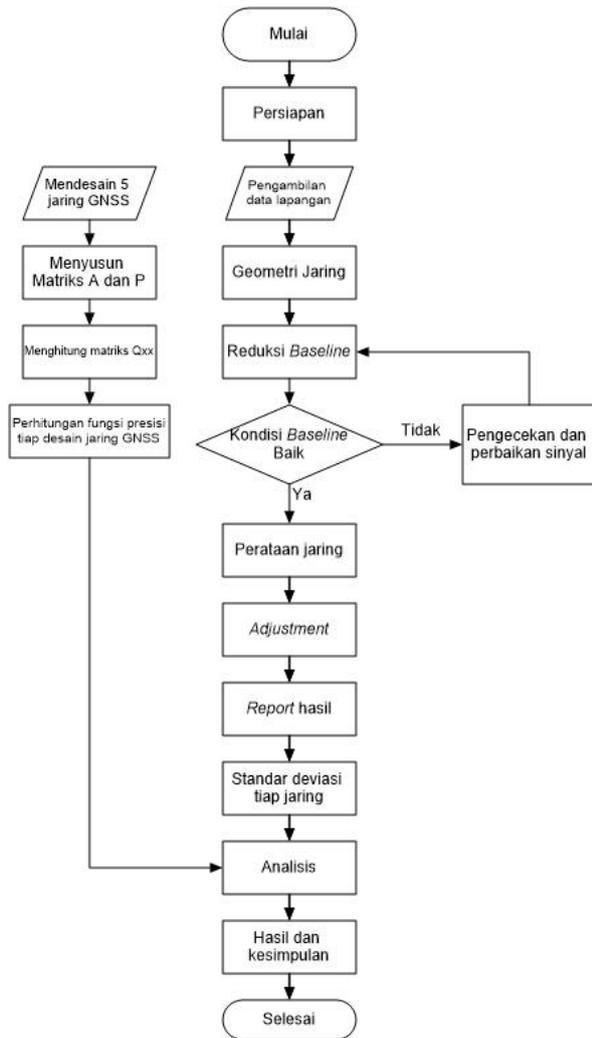
λ_{mak} : nilai eigen maksimum setiap desain jaring

λ_{min} : nilai eigen minimum setiap desain jaring

III. Metodologi Penelitian

III.1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan melalui tahapan persiapan berupa penentuan desain jaring yang akan digunakan dalam penelitian, kemudian melakukan proses pengambilan data ukuran lapangan menggunakan survey GNSS metode rapid static yang selanjutnya hasil ukuran tersebut diolah menggunakan software TopconTools untuk mendapat nilai standar deviasi masing-masing desain jaringnya. Tahap selanjutnya masing-masing desain jaring tersebut dihitung nilai fungsi presisinya menggunakan MAtLab. Kedua hasil standar deviasi dan hitungan fungsi presisi tersebut dianalisis untuk disimpulkan hubungan keterkaitannya dan didapatkan desain jaring mana yang paling presisi berdasarkan analisis standar deviasi dan fungsi presisi. Secara garis besar, alur penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

III.2. Peralatan dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*):

- a. Perangkat Keras (*Hardware*)
 - 1) Laptop ASUS
 - 2) Handphone Android
- b. Perangkat Lunak (*Software*)
 - 1) Sistem operasi Windows 10 Home Single Language 64-bit.
 - 2) Microsoft Office 2016, untuk membuat laporan.
 - 3) Microsoft Excel 2016, untuk melakukan perhitungan data.
 - 4) Matlab R2017b, untuk melakukan hitung kuadrat terkecil.
 - 5) TopconTools v.8.2.3, untuk pengolahan data hasil ukuran lapangan.
 - 6) AutoCad Land Desktop 2009

Adapun bahan dari penelitian ini adalah hasil pengambilan data ukuran metode survey GNSS dan data CORS CSEM dan CORS UDIP pada tanggal 14 – 16 April 2018

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Hasil Reduksi *Baseline* dan Perataan Jaringan

Perhitungan nilai standar deviasi jaringan menggunakan hitungan perataan *baseline* dengan sampel dari hasil perhitungan pembagian Sigma X (Σx) dan matriks kofaktor (Q_{xx}) dimana $Q_{xx} = (A^T P A)^{-1}$. Nilai hitungan dari sampel untuk nilai Σx dan matriks Q_{xx} harus konsisten untuk tiap masing-masing desain jaringan, dalam hal ini penulis menggunakan kolom 1 (parameter titik GRAV9) dan menggunakan komponen kolom 1 baris 1 pada matriks Q_{xx} untuk sampel 1, kolom 10 (parameter titik SMRG01) dan komponen kolom 10 baris 10 pada matriks Q_{xx} untuk sampel 2, dan kolom 20 (parameter titik CASTRO) dan komponen kolom 20 baris 20 pada matriks Q_{xx} untuk sampel 3. Hasil hitungan standar deviasi masing-masing desain jaringan dapat dilihat pada tabel 1 sampai tabel 3.

Tabel 1 Standar deviasi jaringan sampel 1

Desain Jaringan	Sigma X_1 (Σx_1)	Komponen (1,1) matriks Q_{xx}	$\sqrt{Q_{xx}} (1, 1)$	Standar Deviasi Hz (m)
Jaring 1	0,05	1,493135	1,300379629	0,03845
Jaring 2	0,05	1,493521	1,300379629	0,03850
Jaring 3	0,05	1,493521	1,222096844	0,04091
Jaring 4	0,05	1,690987	1,222096844	0,04091
Jaring 5	0,05	1,690987	1,221939068	0,04092

Tabel 2 Standar deviasi jaringan sampel 2

Desain Jaringan	Sigma X_{10} (Σx_{10})	Komponen (10,10) matriks Q_{xx}	$\sqrt{Q_{xx}} (10, 10)$	Standar Deviasi Hz (m)
Jaring 1	0,032	0,691495	0,831562	0,03845
Jaring 2	0,031	0,657864	0,811088	0,03850
Jaring 3	0,033	0,657101	0,810617	0,04091
Jaring 4	0,033	0,63362	0,796002	0,04091
Jaring 5	0,034	0,625664	0,790989	0,04092

Tabel 3 Standar deviasi jaringan sampel 3

Desain Jaringan	Sigma X_{20} (Σx_{20})	Komponen (20,20) matriks Q_{xx}	$\sqrt{Q_{xx}} (20, 20)$	Standar Deviasi Hz (m)
Jaring 1	0,064	2,731441336	1,618085841	0,03845
Jaring 2	0,064	2,731441336	1,618785056	0,03850
Jaring 3	0,066	2,638891448	1,624466512	0,04091
Jaring 4	0,066	2,620465059	1,652707275	0,04091
Jaring 5	0,066	2,618201789	1,652707275	0,04092

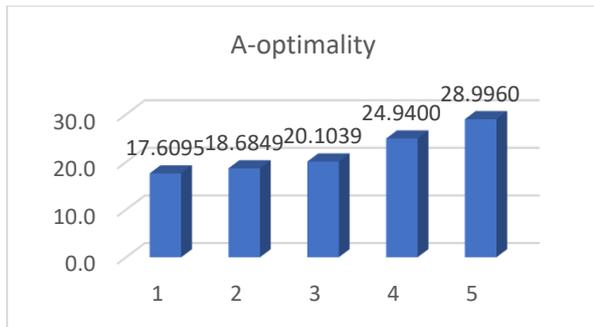


Gambar 2 Simpangan baku desain jaringan

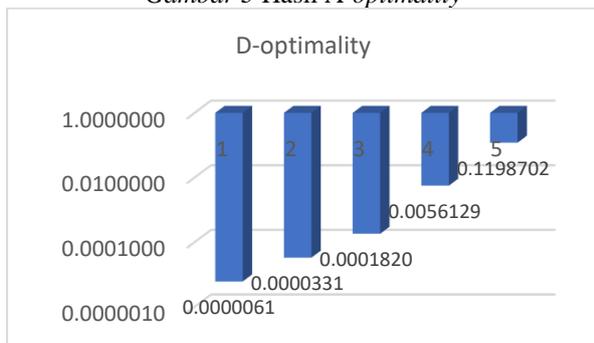
Berdasarkan gambar 2 nilai simpangan baku terendah dari pengolahan reduksi *baseline* dan perataan jaringan dimiliki oleh desain jaringan 1 yang memiliki *baseline* 60 buah sebesar 0,03845 m dan nilai simpangan baku tertinggi dari pengolahan reduksi *baseline* dan perataan jaringan dimiliki oleh desain jaringan 5 yang memiliki *baseline* 45 buah sebesar 0,04092 m.

IV.2 Hasil Hitungan Presisi Desain jaring GNSS

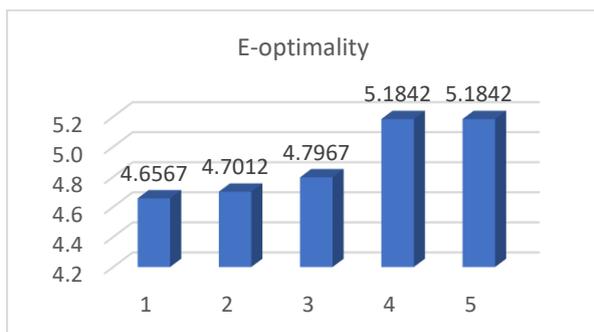
Penelitian ini mendesain 5 buah desain jaring GNSS untuk kemudian dilihat nilai presisinya dari nilai fungsi presisi *A-optimality*, *D-optimality*, *E-optimality*, *S-optimality*, dan *I-optimality*. Nilai *A-optimality*, *D-optimality*, *E-optimality*, *S-optimality*, dan *I-optimality* masing-masing jaring dapat dilihat pada gambar 3 – gambar 7.



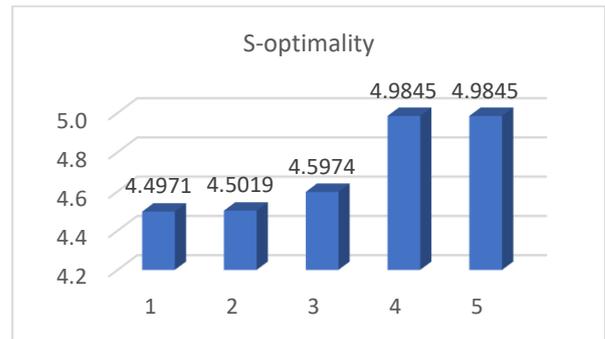
Gambar 3 Hasil A-optimality



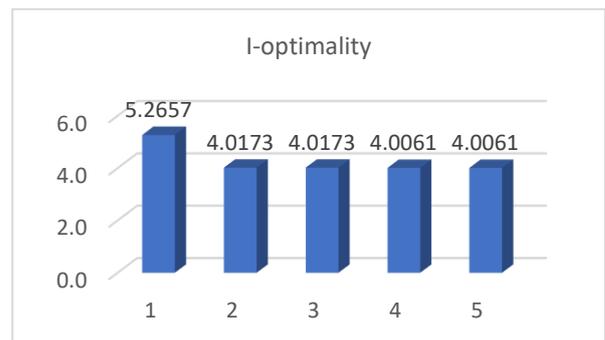
Gambar 4 Hasil D-optimality



Gambar 5 Hasil E-optimality



Gambar 6 Hasil S-optimality



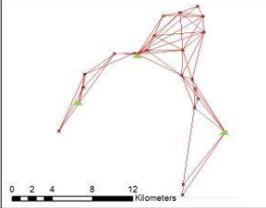
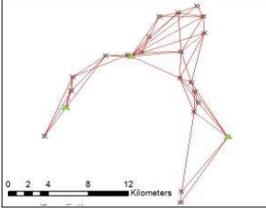
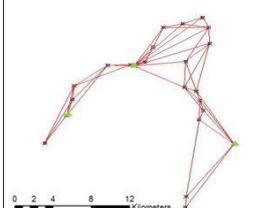
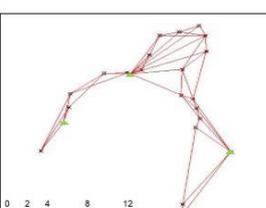
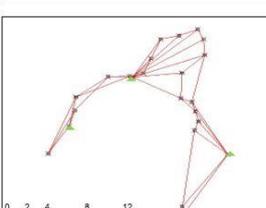
Gambar 7 Hasil I-optimality

Gambar 3 – gambar 7 menjelaskan nilai fungsi presisi konsisten naik dari desain jaring 1 hingga ke desain jaring 5 hal ini dikarenakan adanya pengurangan jumlah *baseline* dari jaring 1 hingga jaring 5, selanjutnya dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain :

1. Jumlah *baseline* dalam suatu jaring GNSS mempengaruhi nilai optimasi fungsi tujuan presisi. Nilai *A-optimality* dan *D-optimality*, *E-optimality*, *S-optimality* minimum pada desain 1 yang memiliki jumlah *baseline* lebih banyak dibanding desain jaring lainnya yaitu sebanyak 60 buah *baseline*. Berbeda dengan nilai *A-optimality* dan *D-optimality*, *E-optimality*, *S-optimality*, nilai *I-optimality* konsisten menurun dari desain jaring 1 hingga desain jaring 5, hal ini menunjukkan bahwa desain jaring dengan *baseline* sederhana memiliki nilai *I-optimality* paling optimum.
2. Panjang *baseline* dalam suatu desain jaring GNSS mempengaruhi nilai optimasi fungsi tujuan presisi. Hal ini ditunjukkan dengan nilai *A-optimality* dan *D-optimality*, *E-optimality*, *S-optimality*, dan *I-optimality* yang bervariasi dari semua desain jaring GNSS yang tersusun atas segitiga dengan panjang *baseline* yang bervariasi.
3. Bentuk segitiga jaring dalam suatu desain jaring GNSS tidak mempengaruhi nilai fungsi tujuan presisi. Hal ini ditunjukkan dengan semua desain jaring tersusun atas berbagai bentuk segitiga dan memiliki nilai sudut yang bervariasi.

Hasil hitungan fungsi presisi masing-masing desain jaring dapat dilihat dalam tabel 4.

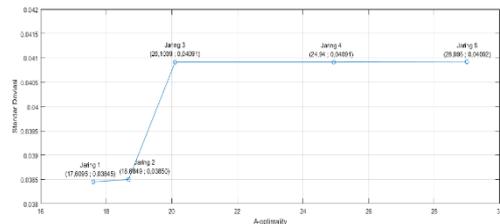
Tabel 4 Hasil hitungan fungsi presisi desain jaring

	Nama Jaring	1
	Jumlah baseline	60 buah
	A-optimality	17.6095
	D-optimality	0.0000061
	E-optimality	4.6567
	I-optimality	5.2657
	Nama Jaring	2
	Jumlah baseline	55 buah
	A-optimality	18.6849
	D-optimality	0.0000331
	E-optimality	4.7012
	I-optimality	4.0173
	Nama Jaring	3
	Jumlah baseline	50 buah
	A-optimality	20.1039
	D-optimality	0.0001820
	E-optimality	4.7967
	I-optimality	4.0173
	Nama Jaring	4
	Jumlah baseline	45 buah
	A-optimality	24.9400
	D-optimality	0.0056129
	E-optimality	5.1842
	I-optimality	4.0061
	Nama Jaring	5
	Jumlah baseline	40 buah
	A-optimality	28.9960
	D-optimality	0.1198702
	E-optimality	5.1842
	I-optimality	4.0061

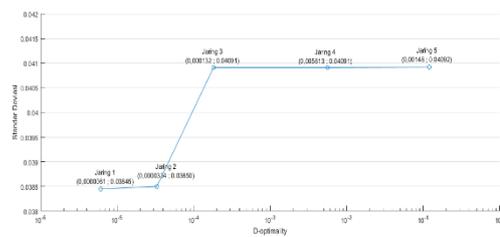
Seperti dijelaskan pada penelitian terdahulu oleh Widjajanti pada tahun 2016 dan Aulia tahun 2014 disimpulkan bahwa nilai fungsi presisi akan bernilai minimum pada desain jaring yang lebih kompleks atau memiliki *baseline* lebih banyak, pada penelitian kali ini dapat dilihat pada tabel IV.9 sampai IV.14 nilai *A-optimality* minimum pada desain jaring 1 sebesar 17,6095, nilai *D-optimality* minimum pada desain jaring 1 sebesar 0,0000061, nilai *E-optimality* minimum pada desain jaring 1 sebesar 4,6567, nilai *S-optimality* minimum pada desain jaring 1 sebesar 4,4971 dan nilai *I-optimality* minimum pada desain jaring 5 dan jaring 4 sebesar 4,0061.

IV.3 Analisis Hubungan Presisi Desain Jaring terhadap Simpangan Baku

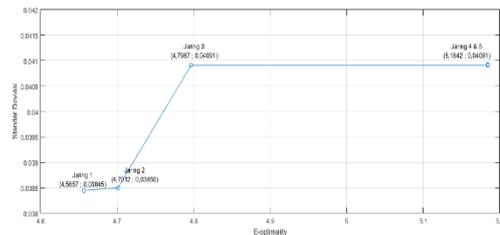
Berdasarkan nilai standar deviasi dan nilai fungsi presisi masing-masing desain jaring yang telah didapatkan, kita dapat menganalisa hubungan antara standar deviasi dan fungsi tujuan presisi. Hubungan antara standar deviasi dan fungsi tujuan presisi dapat dijelaskan pada gambar 8 sampai gambar 12.



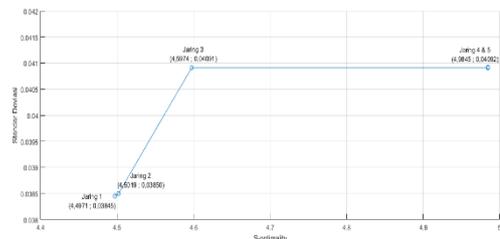
Gambar 8 Grafik hubungan standar deviasi dan A-optimality



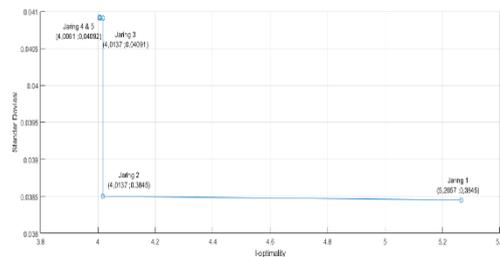
Gambar 9 Grafik hubungan standar deviasi dan D-optimality



Gambar 10 Grafik hubungan standar deviasi dan E-optimality



Gambar 11 Grafik hubungan standar deviasi dan S-optimality



Gambar 12 Grafik hubungan standar deviasi dan I-optimality

Gambar 8 sampai gambar 12 menjelaskan nilai fungsi presisi dan nilai standar deviasi konsisten naik dari desain jaring 1 hingga ke desain jaring 5,

selanjutnya dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain :

1. Desain jaring 1 merupakan desain jaring paling presisi karena memiliki nilai fungsi tujuan presisi dan standar deviasi yang paling kecil.
2. Desain jaring 5 merupakan desain jaring paling tidak presisi karena memiliki nilai fungsi tujuan presisi dan standar deviasi yang paling besar.
3. Semakin kecil nilai standar deviasi semakin kecil pula nilai fungsi tujuan presisinya yang menandakan desain jaring tersebut presisi dan sebaliknya semakin besar nilai standar deviasi semakin besar pula nilai fungsi tujuan presisinya yang menandakan desain jaring tersebut kurang presisi.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Setelah melakukan pengolahan data dan melakukan analisis, maka kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan perumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Desain jaring yang paling presisi berdasarkan analisis fungsi presisi dan standar deviasi adalah desain jaring nomor 1 dengan jumlah baseline 60. Desain jaring nomor 1 memiliki nilai fungsi tujuan akurasi *A-optimality* paling kecil 17,6095 yang menggunakan *baseline* paling banyak dan desain jaring nomor 1 memiliki nilai fungsi tujuan akurasi *E-optimality* 4,6567, ini menunjukkan bahwa desain jaring nomor 1 memiliki jaring yang paling isotropik. Desain jaring nomor 1 memiliki nilai standar deviasi paling kecil sebesar 0,03845 dibanding dengan desain lainnya, hal ini menunjukkan desain jaring 1 merupakan desain jaring paling presisi.
2. Nilai standar deviasi dan fungsi presisi desain jaring GNSS memiliki hubungan keterkaitan yang searah dimana semakin tinggi nilai standar deviasinya maka semakin tinggi pula nilai fungsi presisinya. Grafik hubungan keduanya jika digambarkan dalam sumbu kartesian menunjukkan pergerakan searah ke arah kanan atas atau ke arah kuadran 1.
3. Efek penambahan jumlah *baseline* membuat desain jaring semakin presisi hal ini dibuktikan dengan desain jaring paling presisi jika dilihat dari nilai standar deviasi dan analisis presisi dengan fungsi presisi adalah jaring nomor 1 yang merupakan jaring dengan jumlah *baseline* paling banyak yaitu 60 buah, sebaliknya desain jaring paling tidak presisi jika dilihat dari nilai standar deviasi dan analisis presisi dengan fungsi presisi adalah jaring nomor 5 yang merupakan jaring dengan jumlah *baseline* paling sedikit yaitu 45 buah.

V.2 Saran

Dari hasil penelitian ini ditemukan beberapa saran yang dapat dijadikan masukan untuk penelitian

selanjutnya. Berikut ini adalah beberapa saran yang dapat disampaikan :

1. Penentuan titik-titik yang akan dijadikan titik kontrol sebaiknya memiliki geometri yang baik, yaitu diusahakan dapat membentuk segitiga sama sisi.
2. Titik kontrol yang dijadikan sebagai titik ikat sebaiknya memiliki orde yang lebih tinggi, atau titik kontrol yang terpilih diikatkan ke jaring kontrol nasional ataupun internasional.
3. Pengolahan hasil ukuran survei GNSS memakai *software* ilmiah bukan *software* komersil agar hasil yang didapat lebih teliti.

Daftar Pustaka

- Abidin, H.Z. 2002. *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*. PT Pradnya Paramita. Jakarta.
- Abidin, H.Z, Andreas, H., Meilano, I., Gamal, M., Gumilar, I., Abdullah, CI. *Deformasi Koseismik dan Pascaseismik Gempa Yogyakarta 2006 dari Hasil Survei GPS*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 4 No.4 Desember 2009: 275-284.
- Aulia, Agung Widcha. 2014. Optimasi desain jring GPS wilayah kampus UGM. Teknik Geodesi. Universitas Gadjah Mada.
- Kuang, Shanlong. 1996. *Geodestic Network Analysis and Optimal Design : Concepts and Application*. Ann Arbor PressInc.
- Mikhail dan Gracie, 1981, *Analysis and Adjustment of Survey Measurement*, Van. Nostrand Reinhold Company Inc.
- Waljiyanto, Widjajanti, N, Yulaikhah, dan Taftazani, Iqbal. 2015. *Pengembangan Jaring Kontrol Geodesi Pemantau Waduk Sermo*. Yogyakarta
- Wijayatmo J., 2011, *Kajian Kehandalan Jaring untuk Monitoring Bendungan Sermo*, Skripsi, Jurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Yalcinkaya, M., dan K, Teke. 2012. *Strategy For Designing Geodetic Gps Networks With High Reliability And Accuracy*. Turkey.
- Yuwana, Y. 2013. Hitungan Koordinat Horizontal Titik-titik *Benchmark* Teknik UGM Menggunakan *Minimum Constraint Adjustment*. Teknik Geodesi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.