

# **BAB II**

## **KONSEP PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN VOLUME DENGAN ALAT UKUR TOTAL STATION, GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEM DAN TERRESTRIAL LASER SCANNER**

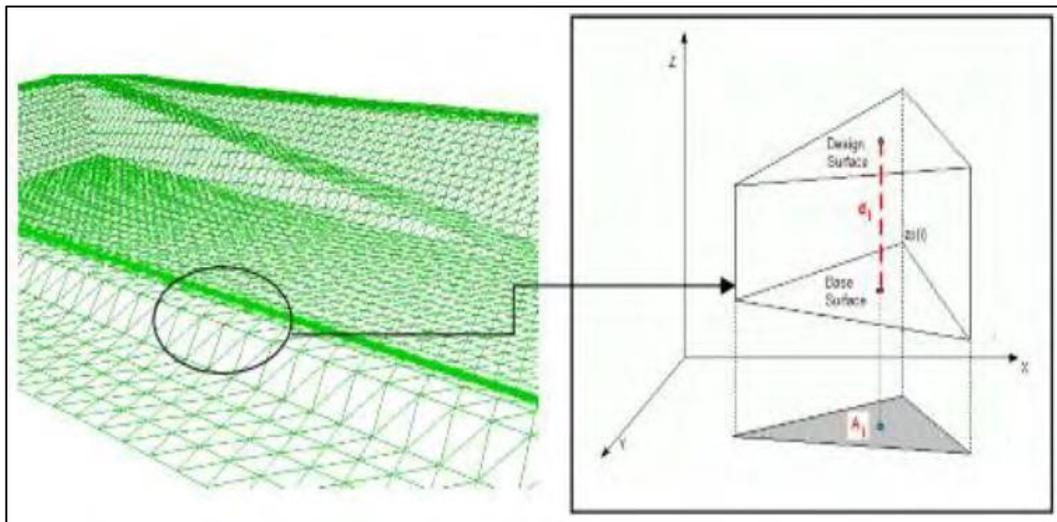
### **II.1 Penentuan Volume Topometrik**

Volume adalah jumlah ruang yang ditempati oleh suatu material. Material yang dimaksud dapat berupa material padat, cair, maupun gas. Volume suatu benda pada prinsipnya dihitung dengan mengalikan panjang dengan lebar dan tinggi. Karena masing-masing adalah pengukuran besaran panjang, yang berarti dapat dikatakan bahwa satuan volume yang berasal dari satuan panjang. Satuan Internasional (SI) untuk volume adalah meter kubik (m<sup>3</sup>). Satuan lain yang biasa digunakan untuk besaran nilai volume yaitu liter dan mili liter.

Pengukuran volume adalah suatu hal yang sangat umum dilakukan. Pengukuran volume bertujuan untuk merancang dan mengestimasi semua pekerjaan konstruksi seperti jalan raya, rel, dan irigasi. Akurasi dari perhitungan tergantung pada tampilan dari garis tinggi dan kerapatan titik tinggi. Pengukuran volume secara langsung jarang dikerjakan dalam suatu pekerjaan, karena sulit untuk menerapkan sebuah satuan terhadap suatu material. Sebagai gantinya dilakukan pengukuran secara tidak langsung. Untuk memperolehnya dilakukan pengukuran garis dan luas yang mempunyai kaitan dengan volume yang diinginkan. Ada beberapa cara atau metode untuk menghitung volume yaitu metode irisan melintang, metode garis kontur, metode *borrow pit*, dan metode *borrow pit* (Ghialini & Wolf, 2012).

### II.1.1 Metode *Borrow Pit*

Prinsip perhitungan volume menggunakan metode *borrow pit* adalah menghitung luasan dua penampang serta jarak antara penampang atas dan penampang bawah tersebut. Dengan mengetahui data penampang atas dan penampang bawah, maka dapat dihitung luas masing-masing penampang. Volume dihitung dari *Digital Terrain Model* (DTM) yang dibentuk dari jaring-jaring segitiga atau *Triangulated Irregular Network* (TIN). TIN membentuk suatu geometri prisma dari dua permukaan. Dua permukaan ini adalah *design surface* dan *base surface*. *Design surface* adalah permukaan yang dihitung volumenya sedangkan *base surface* adalah permukaan yang dijadikan sebagai alas (Irvine, 1995). Perhitungan volume metode *borrow pit* diilustrasikan pada gambar II.1 di bawah ini.



Gambar II.1 *Triangulated Irregular Network* (TIN) membentuk suatu geometri prisma dari dua permukaan. Dua permukaan ini adalah *design surface* dan *base surface*. *Design surface* adalah permukaan yang dihitung volumenya sedangkan *base surface* adalah permukaan yang dijadikan sebagai alas (Irvine, 1995)

Gambar diatas menunjukkan bahwa volume total dari suatu area dihitung dari penjumlahan volume semua prisma. Volume prisma dihitung dengan mengalikan permukaan proyeksi ( $A_i$ ) dengan jarak antara pusat massa dari dua segitiga yaitu *design surface* dan *base surface* ( $d_i$ ). Rumus penghitungan volume untuk TIN dapat dilihat pada persamaan (1) di bawah ini.

$$V = A_i \cdot d_i \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

$V_i$  : Volume prisma ( $m^3$ )

$A_i$  : Luas bidang permukaaniproeksi ( $m^2$ )

$d_i$  : Jarak antara pusat massa duaisegitiga *surfaceidesign* dan *baseidesign* (m)

## II.2 Total Station (TS)

Saat ini telah banyak *theodolite* elektronik yang digabung atau dikombinasikan dengan alat *electronic distance meter* (EDM) dan pencatat alat (*colector*) elektronik menjadi alat *Takheometer Elektronik* (ATE), yang dikenal dengan sebutan *total station*. Alat ini dapat membaca dan mencatat sudut *horizontal* dan *vertikal* bersama-sama dengan jarak miringnya. Alat ini juga dilengkapi dengan *microposessor*, sehingga dapat melakukan bermacam-macam operasi perhitungan matematis seperti merata-rata hasil sudut ukuran dan jarak-jarak ukuran, menghitung koordinat (x, y, z), menentukan ketinggian objek dari jauh, menghitung jarak antara objek-objek yang diamati, koreksi atmosfer dan koreksi alat (Basuki, 2006).

Selain dapat mencatat data, *total station* juga mempunyai kelebihan-kelebihan lain yang berbeda untuk setiap pabrik. Selain bisa digunakan untuk mengukur jarak datar dari objek-objek yang dibidik, alat tersebut dapat pula mengetahui jarak miring antar objek tersebut. Alat ini dapat dipakai secara individu untuk menghitung kesalahan penutup poligon dan menghitung perataan, maupun sebagai bagian dari sistem sebagai pengumpul data, perhitungan secara digital dan plotting secara otomatis.

*Total Station* dapat digunakan pada berbagai tahapan survei, survei pendahuluan, survei titik kontrol, dan survei pematokan. *Total station* terutama cocok untuk survei topografi karena surveyor membutuhkan posisi (x, y, z) dari sejumlah detail yang cukup banyak, data yang mampu dikumpulkan oleh *total station* berjumlah dua kali lebih banyak dari data yang dapat dikumpulkan dengan

alat *theodolite* biasa dan EDM. Hal ini akan membuat peningkatan produktifitas, yang akan menjadikan teknik ini dapat bersaing dengan teknik fotogrametri (Basuki, 2006).

Secara garis besar alat *Total Station* dapat diuraikan berikut:

1. *Total Station* merupakan alat ukur elektronik untuk mengukur sudut dan jarak (EDM: *Electronic Distance Measurement*) yang menyatu dalam satu unit alat.
2. Data dapat disimpan dalam media perekam yang berupa *on-board internal, external (elect field book)* atau berupa *card* sehingga tidak ada kesalahan dalam pencatatan data.
3. Mampu melakukan beberapa hitungan, misalnya jarak datar, beda tinggi, dan lainnya di dalam, dan juga mampu menjalankan program-program survei.
4. Untuk type "*high end*" ada yang dilengkapi dengan motor penggerak dan dilengkapi dengan *ATR-Automatic Target Recognition* yaitu pengenalan obyek otomatis.
5. Pada tipe tertentu mampu mengeliminir kesalahan-kesalahan kolimasi  $H_z$  dan  $V$ , kesalahan diametral, koreksi refraksi dan lainnya sehingga data yang didapat sangat akurat.
6. Ketelitian dan kecepatan dalam pengukuran, sudut dan jarak jauh lebih baik dari *Theodolite* manual dan meteran, terutama apabila digunakan untuk pemetaan situasi.
7. Alat yang baru dilengkapi dengan *laser plummet*, sangat praktis dan *Reflektor-less*, yaitu EDM tanpa *reflector*.
8. Data secara elektronik dapat dikirim ke PC (*Personal Computer*) dan diolah menjadi peta dengan program mapping *software*.

## II.2.1 Prinsip Dasar Pengukuran Sudut dan Jarak

Pada dasarnya pengukuran sudut dengan menggunakan *total station* sama dengan pengukuran sudut pada *theodolit*. Pada alat *total station* terdapat dua buah sumbu yang kedua sumbu tersebut terdapat suatu skala yang dapat digunakan untuk menyatakan besarnya sudut. Data sudut yang harus diketahui untuk memperoleh koordinat 3D adalah sudut vertikal dan sudut horizontal, sudut horizontal digunakan untuk mendapatkan posisi horizontal (X,Y) dan sudut vertikal digunakan untuk memperoleh posisi vertika (Z) (Purwohardjo, 1986).

Pengukuran jarak pada *total station* pada dasarnya merupakan pengukuran jarak menggunakan EDM (*Electronic Distance Meter*). Untuk memperoleh jarak, *total station* memancarkan suatu gelombang dari pusat lensa *total station* ke suatu objek yang akan diketahui posisinya kemudian menerima pantulannya. Untuk mengetahui jarak dari alat ke target dihitung berdasarkan cepat rambat gelombang yang dikalikan dengan waktu tempuhnya. Data yang diperoleh dalam pengukuran menggunakan *total station* pada dasarnya berupa sudut dan jarak. Pengambilan data dilakukan dengan metode *tachymetri*. Metode *tachymetri* menggunakan metode polar untuk penentuan posisi horisontalnya (X, Y) dan menggunakan metode trigonometri untuk perhitungan posisi tinggi (Z). Perhitungan posisi horisontal menggunakan metode polar dihitung dengan persamaan (2) di bawah ini (Purwohardjo, 1986).

$$\begin{aligned} X' &= X + d \sin \alpha \\ Y' &= Y + d \cos \alpha \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

Keterangan:

X, Y : Koordinat titik acuan (m)

X', Y' : Koordinat objek (m)

$\alpha$  : Azimuth (Sudut Jurusan) ( $^{\circ}$ )

d : Jarak mendatar antar titik (m)

## II.2.2 Ketelitian TS (*Total Station*)

TS (*Total Station*) dapat melakukan pengukuran sudut menggunakan metode *electro optical scanning* melalui piringan atau silinder kaca yang mempunyai indikator skala yang sangat presisi. *Total Station* dengan fitur terkini bisa mengukur sudut dengan nilai ketelitian sampai 0.5 *arc-second* (Purwohardjo, 1986). Sebaliknya tipe *Total Station* biasa hanya dapat mengukur sudut dengan nilai ketelitian 5 hingga 10 *arc-second*. Begitu juga dengan pengukuran jarak memakai teknologi cahaya infra merah yang termodulasi, sinyal ini dipancarkan oleh alat pemancar kecil yang berada di dalam *instrument optic*, lalu akan dipantulkan kembali oleh *prisma reflector* yang diletakkan di tempat survei. Berikutnya komputer yang terdapat di dalam *Total Station* akan menerjemahkan pola yang ada di dalam gelombang sinyal yang dipantulkan.

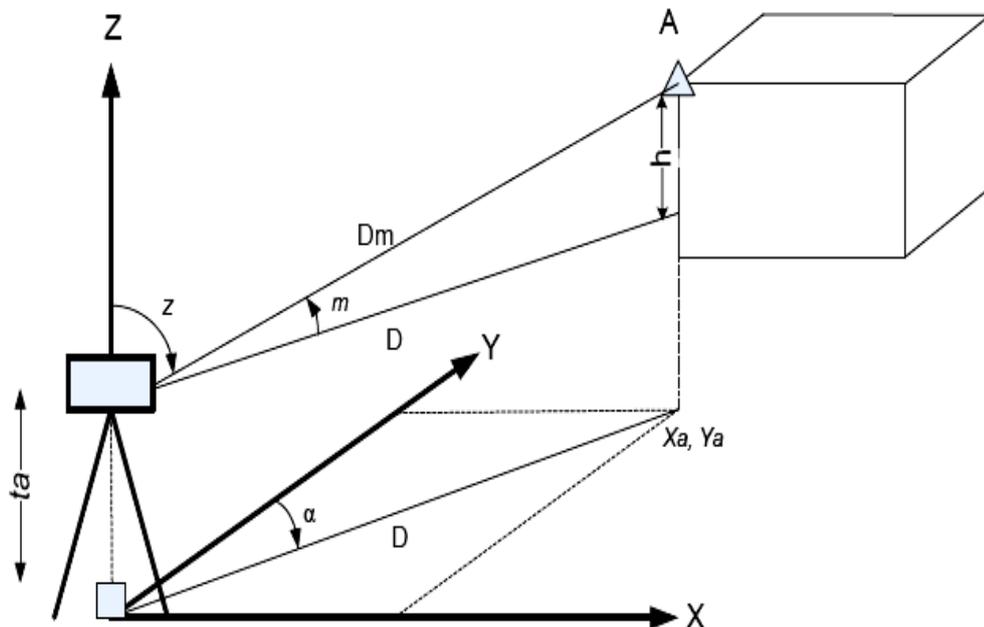
Hasil pengukuran jarak baru dapat diperkirakan setelah beberapa kali pemancaran serta penerimaan frekuensi dari cahaya infra merah, setelah itu dapat memulai hitung jumlah bulat dari panjang gelombang pada tiap frekuensinya (Purwohardjo, 1986).

## II.2.3 Pengukuran Metode *Tachimetry*

Metode *tachymetri* adalah pengukuran posisi dan tinggi titik atau target dengan menggunakan konsep trigonometrik (sudut dan jarak) dengan bantuan alat-alat optis, elektronis, dan digital. Metode *tachymetri* didasarkan pada prinsip bahwa pada segitiga-segitiga sebangun, sisi yang sepihak adalah sebanding. Metode *tachymetri* paling bermanfaat dalam penentuan lokasi sejumlah besar detail topografi, baik horizontal maupun vertikal (Purwaamijaya, 2008)

Pengukuran titik-titik detail dengan metode *tachymetri* pada dasarnya dilakukan dengan menggunakan peralatan dengan teknologi lensa optis dan elektronis digital. Dalam pengukuran titik-titik detail pada prinsipnya adalah menentukan koordinat dan tinggi titik-titik detail dari titik-titik ikat. Pengukuran titik-titik detail pada dasarnya dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu *offset* dan *tachymetri*. Metode *offset* menggunakan peralatan sederhana, seperti pita ukur, jalon, meja ukur, mistar, busur derajat, dan lain sebagainya. Metode *tachymetri*

menggunakan peralatan dengan teknologi lensa optis dan elektronis digital. Pengukuran metode *tachymetri* mempunyai keunggulan dalam hal ketepatan dan kecepatan dibandingkan metode *offset*. Pengukuran titik-titik detail metode *tachymetri* ini relatif cepat dan mudah karena yang diperoleh dari lapangan adalah pembacaan rambu, sudut horizontal (*azimuth magnetis*), sudut vertikal (*zenith* atau inklinasi) dan tinggi alat. Hasil yang diperoleh dari pengukuran *tachymetri* adalah posisi planimetris X, Y, dan ketinggian Z. Metode *tachymetri* didasarkan pada prinsip bahwa pada segitiga-segitiga sebangun, sisi yang sepihak adalah sebanding. Kebanyakan pengukuran *tachymetri* adalah dengan garis bidik miring karena adanya keragaman topografi, tetapi perpotongan benang *stadia* dibaca pada rambu tegak lurus dan jarak miring direduksi menjadi jarak horizontal dan jarak vertikal. Ilustrasi dari pengukuran metode *tachymetri* diterangkan pada gambar II.2 berikut ini (Purwaamijaya, 2008).



Gambar II.2 Pengukuran posisi dan tinggi titik atau target dengan menggunakan konsep trigonometrik (sudut dan jarak) yaitu berupa sudut jurusan, sudut miring, jarak miring, dan jarak datar (Purwaamijaya, 2008)

Keterangan gambar:

- A : Sudut Jurusan ( $^{\circ}$ )
- m : Sudut miring ( $^{\circ}$ )
- Dm : Jarak miring (m)
- D : Jarak datar (m)
- t : Tinggi alat (m)
- $\triangle$  : Titik kontrol bangunan
- $\square$  : Titik kerangka dasar

Berikut adalah perhitungan koordinat pada pengukuran metode *tachymetri* yang dapat dilihat pada persamaan (3) di bawah ini.

$$\begin{aligned} X &= X_a + d \sin \alpha \\ Y &= Y_a + d \sin \alpha \\ Z &= (sd \cdot \sin z) - (t_{\text{prisma}} - t_{\text{alat}}) \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

Keterangan:

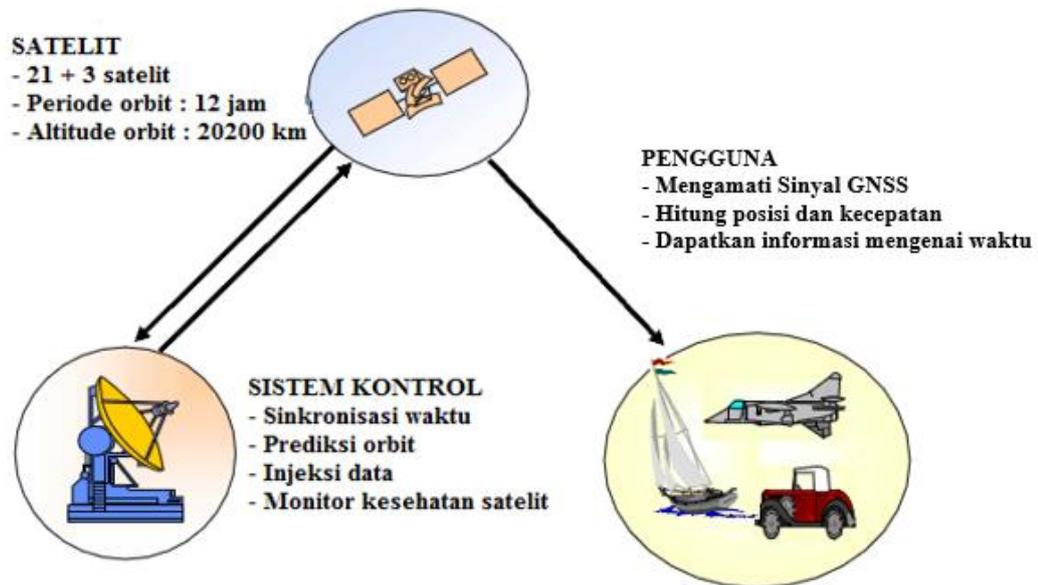
- X, Y, Z : Koordinat obyek (m)
- X<sub>a</sub>, Y<sub>a</sub> : Koordinat titik sebelumnya (m)
- $\alpha$  : Azimuth (Sudut Jurusan) ( $^{\circ}$ )
- d : Jarak mendatar antar titik (m)
- sd : Jarak miring (m)
- z : sudut zenith pada alat ukur ( $^{\circ}$ )

### II.3 GNSS (Global Navigation Satellite System)

GNSS merupakan suatu sistem satelit yang terdiri dari konstelasi satelit yang menyediakan informasi waktu dan lokasi, memancarkan macam-macam sinyal dalam berbagai frekuensi secara terus menerus, yang tersedia di semua lokasi di atas permukaan bumi. GNSS memiliki peranan penting dalam bidang navigasi. GNSS yang ada saat ini adalah GPS (*Global Positioning System*) milik Amerika Serikat, GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) milik Rusia, Galileo milik Uni Eropa, dan Compass atau Beidou milik Cina. India dan Jepang telah mengembangkan kemampuan GNSS regional dengan meluncurkan sejumlah satelit ke antariksa untuk menambah kemampuan yang sudah disediakan oleh sistem global dalam menyediakan tambahan cakupan regional (UNOOSA, 2011).

GNSS yang paling dikenal saat ini adalah GPS (*Global Positioning System*). Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, kepada banyak orang secara simultan. Pada saat ini, sistem GNSS sudah sangat banyak digunakan orang di seluruh dunia dalam berbagai bidang aplikasi. Di Indonesia, GNSS sudah banyak diaplikasikan, terutama yang terkait dengan aplikasi-aplikasi yang menuntut informasi tentang posisi ataupun perubahan posisi. Dibandingkan dengan sistem dan metode penentuan posisi lainnya, GNSS mempunyai banyak kelebihan dan menawarkan lebih banyak keuntungan, baik dalam segi operasionalisasinya maupun kualitas posisi yang diberikan.

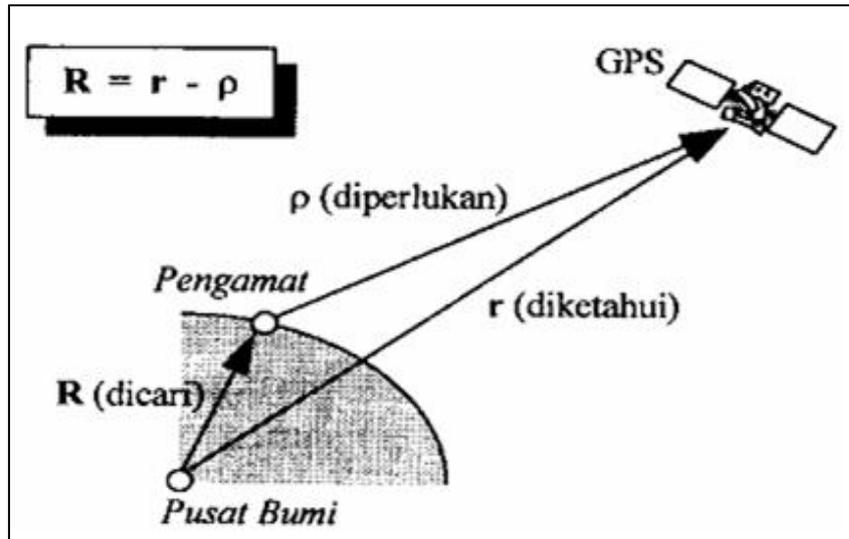
Pada dasarnya GNSS terdiri dari tiga segmen utama, yaitu segmen angkasa (*space segment*) yang terutama terdiri dari satelit-satelit GNSS, segmen sistem kontrol (*control system segment*) yang terdiri dari stasiun-stasiun pemonitor dan pengontrol satelit, dan segmen pemakai (*user segment*) yang terdiri dari pemakai GNSS termasuk alat-alat penerima dan pengolah sinyal dan data GNSS (Abidin, 2000). Ketiga segmen tersebut digambarkan secara skematik pada Gambar II.3 berikut ini.



*Gambar II.3 Segmen satelit GNSS dapat dianalogikan sebagai stasiun radio angkasa untuk mengirim dan menerima sinyal. Segmen sistem kontrol berfungsi mengontrol dan memantau operasional satelit dan memastikan bahwa satelit berfungsi sebagaimana mestinya. Segmen pengguna terdiri dari para pengguna satelit GNSS di manapun berada (Abidin, 2000)*

### II.3.1 Penentuan Posisi Dengan GNSS

Pada dasarnya konsep dasar penentuan posisi dengan GNSS adalah reseksi (pengikatan ke belakang) dengan jarak yaitu dengan pengukuran jarak secara simultan ke beberapa satelit GNSS yang koordinatnya telah diketahui. Dalam hal ini parameter yang akan ditentukan adalah vektor posisi *geosentrik* pengamat ( $R$ ). Untuk itu, karena vektor posisi *geosentrik* satelit GNSS ( $r$ ) telah diketahui, maka yang perlu ditentukan adalah vektor posisi *toposentris* satelit terhadap pengamat ( $\rho$ ) (Abidin, 2000). Secara vektor prinsip dasar penentuan posisi dengan GNSS diperlihatkan pada gambar II.4 di bawah ini.



Gambar II.4 Prinsip dasar penentuan posisi dengan GNSS adalah reseksi (pengikatan ke belakang) dengan menggunakan parameter posisi geosentrik pengamat ( $R$ ), posisi geosentrik satelit GNSS ( $r$ ), dan posisi toposentris satelit terhadap pengamat ( $\rho$ ) (Abidin, 2000)

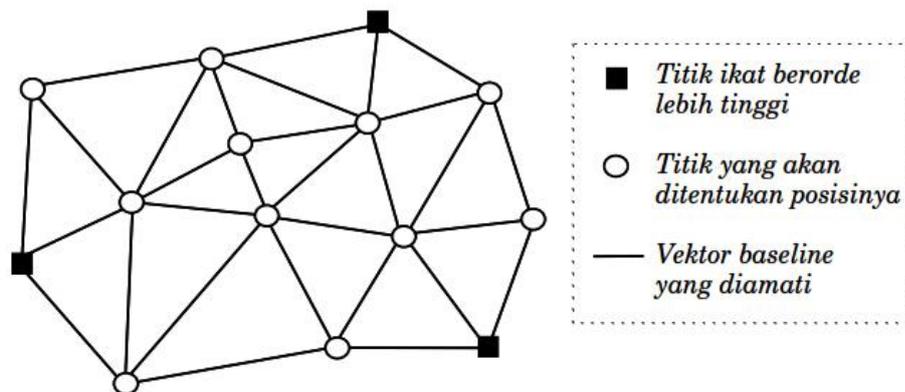
Posisi yang diberikan oleh GNSS adalah posisi tiga dimensi ( $X, Y, Z$  ataupun  $\varphi, \lambda, h$ ) yang dinyatakan dalam WGS-84. Dengan GNSS, titik yang ditentukan posisinya dapat diam (*static positioning*) ataupun bergerak (*kinematic positioning*). Posisi titik dapat ditentukan dengan menggunakan satu *receiver* GNSS terhadap pusat bumi dengan menggunakan metode penentuan posisi *absolut*, ataupun terhadap titik lainnya yang telah diketahui koordinatnya (stasiun referensi) dengan menggunakan metode *diferensial* (relatif) yang menggunakan minimal dua *receiver* GNSS.

GNSS dapat pula memberikan posisi secara instan (*real time*) ataupun sesudah pengamatan setelah data pengamatannya diproses secara lebih ekstensif (*post procesing*) yang biasanya dilakukan untuk mendapatkan ketelitian yang lebih baik. Secara umum dikenal beberapa metode dan sistem penentuan posisi dengan GNSS. Berdasarkan mekanisme pengaplikasiannya metode penentuan posisi dengan GNSS dapat dikelompokkan atas beberapa metode yaitu: *absolute, diferensial, static, rapid static, kinematic, pseudo-kinematic*, dan *stop and go* (Abidin, 2000).

### II.3.2 Metode Penentuan Posisi Statik

Penentuan posisi secara statik (statik positioning) adalah penentuan posisi dari titik-titik yang statik (diam). Penentuan posisi tersebut dapat dilakukan secara absolut maupun diferensial, dengan menggunakan data *pseudorange* atau fase. Dibandingkan dengan metode penentuan posisi kinematik, ukuran lebih pada suatu titik pengamatan yang diperoleh dengan metode statik biasanya lebih banyak. Hal ini menyebabkan keandalan dan ketelitian posisi yang diperoleh umumnya relatif paling tinggi (dapat mencapai orde mm sampai cm). Salah satu bentuk implementasi dari metode penentuan posisi statik yang populer adalah survei GNSS untuk penentuan koordinat dari titik-titik kontrol untuk keperluan pemetaan ataupun pemantauan fenomena deformasi dan geodinamika (Abidin, 2000).

Pada prinsipnya, survei GNSS bertumpu pada metode-metode penentuan posisi statik secara diferensial dengan menggunakan data fase. Pada pengamatan satelit GNSS umumnya dilakukan *baseline per baseline* selama selang waktu tertentu (beberapa puluh menit hingga beberapa jam bergantung tingkat ketelitian yang diinginkan) dalam suatu jaringan dari titik-titik yang akan ditentukan posisinya, seperti yang ditunjukkan pada gambar II.5 di bawah ini.

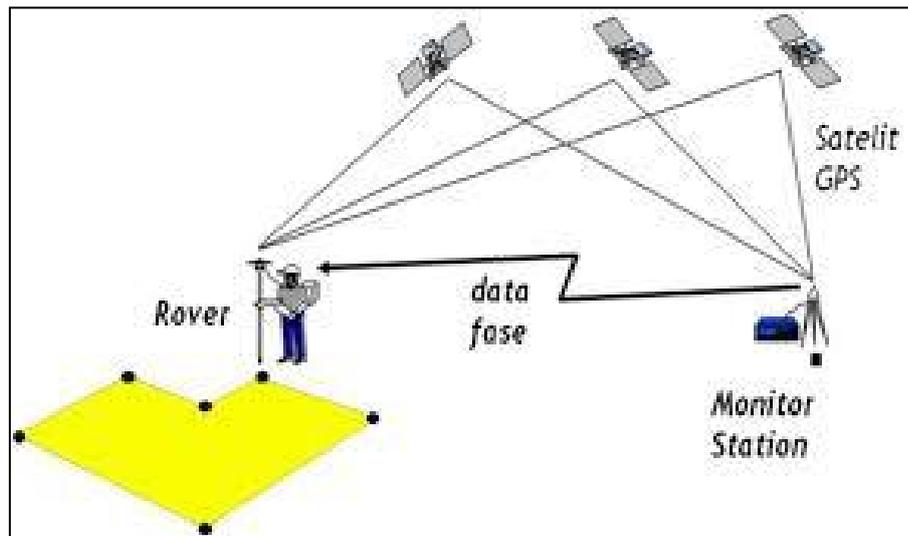


Gambar II.5 Penentuan posisi statik secara diferensial menggunakan data fase yang dilakukan *baseline per baseline* selama selang waktu tertentu (Abidin, 2000)

### II.3.3 Sistem RTK (*Real Time Kinematic*)

Sistem RTK merupakan aplikasi GNSS yang berbasiskan pada *carrier phase* dalam penentuan posisi secara relatif dengan tingkat ketelitian mencapai satuan centimeter secara *real time* (Abidin, 2000). Sistem RTK merupakan prosedur DGPS (*Differential Global Positioning System*) menggunakan data pengamatan fase. Data atau koreksi fase dikirim secara seketika dari stasiun referensi ke *receiver* pengguna. Penggunaan data pengamatan fase membuat informasi posisi yang dihasilkan memiliki ketelitian tinggi. Sistem RTK berkembang setelah diperkenalkannya suatu teknik untuk memecahkan ambiguitas fase disaat *receiver* dalam keadaan bergerak yang dikenal dengan metode penentuan ambiguitas fase secara OTF (*On The Fly*). Proses pengiriman data atau koreksi fase menggunakan radio modem sehingga dapat dilakukan secara seketika, membuat informasi posisi yang dihasilkan oleh sistem ini dapat diperoleh secara seketika.

RTK dibagi menjadi dua jenis, yaitu RTK Radio dan RTK NTRIP. RTK Radio memancarkan sinyal UHF/VHF via radio modem untuk mengirimkan koreksi. RTK NTRIP memancarkan koreksi RTCM via internet untuk mengirimkan koreksi. Komponen RTK ada dua yaitu *base station* dan *rover*. *Base station* adalah *Receiver* GNSS yang berada pada lokasi tertentu dan berguna sebagai titik referensi untuk menentukan posisi titik yang diamat oleh *receiver* GNSS yang lain (*rover*/pengguna). Dalam metode penentuan posisi RTK, *base station* berfungsi untuk memancarkan sinyal koreksi ke *rover*. *Rover* adalah *Receiver* GNSS yang menerima koreksi dari stasiun referensi/*base station*, yang bergerak dari lokasi satu ke lokasi lain selama pelaksanaan survei RTK. Tingkat akurasi dalam pengukuran RTK adalah satu sampai lima centimeter (Abidin, 2000). Konsep penentuan posisi secara Real Time Kinematic (RTK) ditampilkan pada gambar II.6 di bawah ini



Gambar II.6 Sistem RTK (Real Time Kinematic) terdiri dari minimal dua buah receiver satu sebagai base station dan satu lagi sebagai rover dengan cara kerja receiver di base station mengirimkan data berupa data fase dan pseudorange-nya yang beroperasi pada pita frekuensi VHF/UHF ke pengguna (rover) (Abidin, 2000)

#### II.4 TLS (Terrestrial Laser Scanner)

Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) pertama kali didemonstrasikan oleh Theodore Maiman pada tahun 1960 di Hughes Research Laboratories. Laser pertama kali digunakan oleh surveyor untuk pengukuran jarak pada pertengahan tahun 1960. Pengukuran ini dilakukan menggunakan instrumen berbasis perbandingan fase atau teknik akustik. Dalam bidang pemetaan, sejak 1970 dan seterusnya, laser berbasis EDM (*Electronic Distance Measurement*) instrumen banyak digunakan sebagai alat utama dalam pengukuran jarak yang membutuhkan kontrol atau jaring geodetik dengan metode trilaterasi. Sedangkan sudut yang dibentuk diukur secara terpisah menggunakan *teodolit*. Selanjutnya, kedua instrumen ini diintegrasikan ke dalam *total station*. *Total station* dilengkapi dengan *reflektor*, menjadi umum digunakan oleh surveyor dalam menentukan posisi untuk keperluan konstruksi maupun pemetaan topografi. Seiring dengan perkembangan teknologi laser, pengukuran tanpa menggunakan reflektor (*reflectorless*) menjadi mungkin. Kemajuan ini mendorong pengoprasian satu alat

berbasis laser yang secara otomatis mengukur jarak dan sudut dengan simultan sehingga dapat menggambarkan penampang atau profil suatu permukaan. Melalui tahap-tahap pengembangan sistem laser untuk keperluan pemetaan, mekanisme pemindaian (*scanning*) menjadi dasar dalam pembangunan TLS (Fauzi & Simanjuntak, 2018).

Sistem *Terrestrial Laser Scanning* telah tersedia selama sepuluh tahun dan dalam lima tahun terakhir *laser scanning* telah diterima sebagai metode standar untuk pengambilan akuisisi data dalam 3D, sejajar dengan metode yang sudah ada seperti *tachimetry*, fotogrametri dan GNSS. Secara khusus, dokumentasi yang terbangun pada industri sistem *Terrestrial Laser Scanning* telah memainkan peran penting karena ketersediaan pertama mereka sebagai sistem komersial. Keuntungan utama dari sistem pengukuran ini adalah akuisisi data 3D yang lengkap dan rinci pada objek untuk aplikasi yang berbeda. Secara khusus, penggunaan *Terrestrial Laser Scanning* untuk *3D modelling*, pengukuran deformasi, pemantauan dan analisis telah meningkat selama beberapa tahun terakhir (Kersten, et al., 2009).

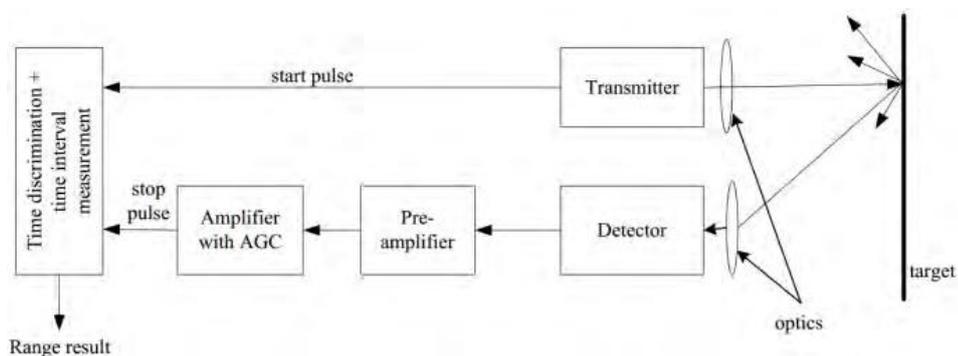
#### **II.4.1 Prinsip Pengukuran TLS (*Terrestrial Laser Scanner*)**

*Terrestrial Laser Scanner* termasuk dalam kategori *laser scanner non-contact active* yaitu *scanner* yang dapat memancarkan radiasi atau suatu cahaya dan mendeteksi pantulannya untuk mendapatkan data mengenai suatu objek. Pada saat melakukan pengambilan data *Terrestrial Laser Scanner* menggunakan suatu teknologi yang disebut dengan *Time OF Flight*. *Terrestrial Laser Scanner Time OF Flight* merupakan suatu teknologi yang banyak digunakan saat ini (Litchi, et al., 2002).

*Time-of-flight Terrestrial Laser Scanner* merupakan suatu *laser scanner* aktif yang menggunakan sinar untuk mendeteksi suatu objek. Inti dari teknologi ini adalah *time-offlight laser rangefinder*. *Laser rangefinder* merupakan suatu komponen TLS yang paling berperan dalam melakukan pengukuran jarak. Pulsa *laser rangefinder* terdiri dari:

1. *Transmitter* atau pemancar pulsa.
2. Penerima pulsa yang terdiri dari *detektor*, penguat sinyal, dan *Automatic Gain Control* (AGC).
3. Pengukur waktu elektronik, unit pengukur waktu (*Time to digital converter* (TDC)).
4. Pemancar dan penerima optis.

Mekanisme pengukuran berbasis pulsa dari laser *rangefinder* yaitu pemancar laser memancarkan dalam pulsa pendek yang terbagi menjadi dua bagian, satu dipancarkan ke penerima sinyal untuk mengaktifkan unit pengukur waktu elektronis, satu lagi dipancarkan ke objek. Ketika laser yang dipancarkan menyentuh objek, laser tersebut akan terhamburkan dan sebagian ada yang kembali ke *detektor*. Di dalam *detektor* kekuatan pancaran pulsa akan dikonversikan menjadi arus listrik yang kemudian akan diterima dan diteruskan oleh penguat sinyal yang disebut diskriminator waktu. Saat arus listrik mencapai diskriminator waktu, hal tersebut menandakan waktu kembalinya pulsa dan akan menghentikan pengukuran waktu. Interval waktu antara pulsa dipancarkan hingga kembali digunakan untuk menghitung jarak antara alat TLS dengan objek (Reshetyuk, 2009). Mekanisme pengukuran menggunakan TLS berbasis pulsa akan diilustrasikan pada Gambar II.7 di bawah ini



Gambar II.7 Mekanisme pengukuran TLS berbasis pulsa yang terdiri dari beberapa bagian dengan cara kerja pulsa dari transmister dipancarkan menjadi dua bagian satu dipancarkan ke penerima sinyal dan satu ke obyek. ketika laser dipancarkan ke obyek laser tersebut akan terhamburkan dan sebagian akan kembali ke *detector* yang diubah menjadi arus listrik, yang kemudian digunakan untuk menghitung jarak obyek ke TLS (Reshetyuk, 2009)

Perhitungan jarak dengan TLS berbasis pulsa mengikuti pada persamaan (4) di bawah ini (Reshetyuk, 2009).

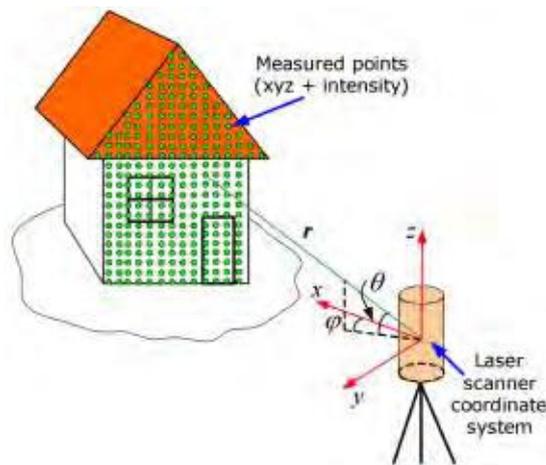
$$d = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \Delta t \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- d : Jarak dari alat ke Objek (m)
- c : Cepat rambat gelombang (m/s)
- $\Delta t$  : Waktu tempuh (s)

Selain sistem pengukur jarak, TLS juga mempunyai sistem pengukur sudut yang dapat digunakan untuk mendapatkan koordinat objek. Sistem pengukur sudut terdiri dari *angular recorders* yang berfungsi untuk mengukur arah horizontal dan sudut vertikal sinar laser TLS ke objek. Untuk mendapatkan nilai koordinat objek dengan menggunakan TLS, adapun beberapa parameter yang diukur dalam setiap objek, yaitu: jarak R (m), arah horizontal ( $\varphi$ ), dan sudut vertikal  $\theta$  ( $^\circ$ ).

Selain melakukan ketiga pengukuran di atas terhadap setiap objek, TLS juga melakukan pengukuran intensitas pantulan sinar laser dari setiap *point clouds* (Reshetyuk, 2009). Prinsip pengukuran TLS akan diilustrasikan pada gambar II.8 di bawah ini.



*Gambar II.8 Konsep pengukuran pada TLS adalah dengan memanfaatkan pantulan sinar laser yang dipantulkan oleh objek yang hendak diukur, sehingga hasil pengukuran bergantung pada baik atau tidak nya pantulan dari sinar laser (Reshetyuk, 2009)*

Hubungan antara data pengamatan ( $r, \varphi, \theta$ ) dan koordinat ( $e, n, u$ ) dapat dituliskan dalam persamaan (5) di bawah ini (Reshetyuk, 2009).

$$X_i = \begin{bmatrix} e_j \\ n_j \\ u_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_j \cos \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \varphi_j \cos \theta_j \\ r_j \sin \theta_j \end{bmatrix} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

$r_j$  : jarak hasil pengukuran waktu tempuh laser ke objek (m)

$\varphi_j$  : sudut horizontal antara arah bidikan laser dengan sumbu e alat ( $^\circ$ )

$\theta_j$  : sudut vertikal antara bidang horizontal dengan arah bidikan laser ( $^\circ$ )

$e_j$  : koordinat e *point clouds* dalam sistem koordinat alat (m)

$n_j$  : koordinat n *point clouds* dalam sistem koordinat alat (m)

$u_j$  : koordinat u *point clouds* dalam sistem koordinat alat (m)

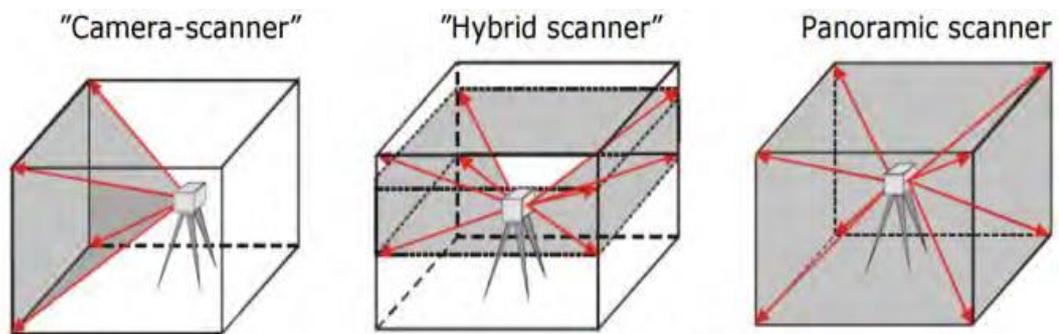
#### II.4.2 Klasifikasi Terrestrial Laser Scanner

*Terrestrial Laser Scanner* (TLS) dibagi ke dalam dua kategori utama, yaitu TLS dinamis dan TLS statis. TLS dinamis merupakan tipe TLS yang pengukurannya atau penggunaannya dilakukan dari atas wahana atau kendaraan yang bergerak. Penggunaan TLS dinamis ini lebih difokuskan kepada citra yang diperoleh dengan menggunakan beberapa video dan kamera digital yang dioperasikan secara bersamaan untuk tujuan geo-referensi langsung dan diintegrasikan dengan sistem GPS/IMU sebagai koreksi langsung data pengukuran TLS dinamis dapat digunakan untuk pemindaian yang digunakan bergerak atau juga dapat disebut *vehicle laser scanning* (Quintero, et al., 2008).

TLS Statis merupakan tipe TLS untuk pengukuran objek topografi yang pengukurannya dilakukan dari posisi yang tetap/diam. TLS ini melakukan pengukuran dengan mengukur jarak miring yang dilakukan dengan menggunakan *laser rangefinder* dan dua sudut yang berasosiasi dengan *encoder* sudut pada bidang horizontal dan vertikal melewati pusat dari alat. Penggunaan TLS jenis ini digunakan dalam pengukuran terhadap objek yang diam.

TLS jenis statis dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa kategori, seperti ditinjau dari prinsip pengukuran, cakupan pemindaian, dan jarak tempuh laser yang digunakan. Berdasarkan prinsip pengukurannya jarak dengan TLS dilakukan menggunakan *laser rangefinder* dengan prinsip pengukuran berbasis pulsa atau beda fase. *Pulse based* TLS memiliki tipe pengukuran jarak dengan menggunakan waktu tempuh laser mulai dipancarkan hingga kembali lagi ke alat. TLS ini dapat digunakan untuk pengukuran dengan jarak objek yang cukup jauh. *Phase difference based* TLS memiliki tipe pengukuran jarak dengan menggunakan perbedaan fase laser saat dipancarkan dengan saat laser diterima kembali oleh alat. TLS ini biasanya hanya digunakan pada pengukuran dengan jarak yang cukup dekat, namun memiliki tingkat presisi yang lebih baik bila dibandingkan dengan TLS berbasis pulsa (Quintero, et al., 2008).

Berdasarkan cakupan pemindaian atau *Field of View* (FOV) terdapat tiga jenis TLS, yaitu *Panoramic Scanner*, *Hybrid Scanner*, dan *Camera Scanner*. Perbedaan dari tiga jenis TLS dalam kategori ini akan diilustrasikan pada gambar II.9 (Reshetyuk, 2009).

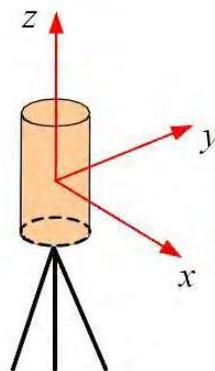


*Gambar II.9 Perbedaan 3 jenis TLS berdasarkan Fields of View (FOV) dengan kata lain jangkauan scanner dalam perekaman obyek. Pada jenis Camera Scanner pemindaian dapat dilakukan dalam cakupan  $40^\circ \times 40^\circ$ , pada Hybrid scanner pemindaian horizontal sebesar  $360^\circ$  namun vertikalnya hanya sebesar  $50^\circ$ - $60^\circ$  dan jenis Panoramic Scanner dapat melakukan pengukuran dengan cakupan sudut horizontal sebesar  $360^\circ$  dan sudut vertikal sebesar  $360^\circ$  (Reshetyuk, 2009).*

### II.4.3 Teknik Registrasi Data

Objek yang dapat dipindai oleh *laser scanner* dapat berupa objek yang besar dan memiliki bentuk yang kompleks. Berdasarkan hal tersebut dibutuhkan beberapa kali proses pemindaian. Proses pemindaian dilakukan dalam beberapa tempat berdiri alat agar didapatkan hasil pemindaian yang lengkap dari suatu objek. *Point clouds* yang dihasilkan pada tiap pemindaian, mengacu pada sistem koordinat internal yang direferensikan terhadap alat gambar II.10. Sistem koordinat internal tersebut biasa didefinisikan sebagai berikut.

1. Origin, didefinisikan pada *scanner electro optical center*.
2. Sumbu z, berada sepanjang sumbu vertikal (rotasi alat).
3. Sumbu x, berada sepanjang sumbu optis alat.
4. Sumbu y, orthogonal terhadap sumbu z dan sumbu x, dengan bentuk sistem kaidah tangan kanan (Reshetyuk, 2009).



*Gambar II.10 Sistem koordinat internal laser scanner, Sumbu z, berada sepanjang sumbu vertikal (rotasi alat), Sumbu x, berada sepanjang sumbu optis alat, dan Sumbu y, orthogonal terhadap sumbu z dan sumbu x, dengan bentuk sistem kaidah tangan kanan (Reshetyuk, 2009)*

Perlu dilakukan suatu proses untuk mendapatkan representasi hasil pemindaian yang lengkap dari suatu objek, yang dalam prosesnya melakukan proses transformasi pada hasil pemindaian objek ke dalam suatu sistem koordinat, tahapan ini disebut registrasi.

Tahapan registrasi perlu dilakukan untuk menggabungkan data hasil pemindaian dari beberapa tempat berdiri alat. Agar proses registrasi bisa dilakukan,

proses pemindaian harus terdapat area yang *overlap* antara proses pemindaian dari satu titik ke proses pemindaian titik berikutnya. Pada proses registrasi dilakukan transformasi hasil pemindaian yang di dalamnya dilakukan penentuan nilai parameter transformasi, yaitu tiga parameter translasi ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) yang tergabung dalam komponen translasi dan tiga parameter rotasi ( $\kappa, \varphi, \omega$ ) yang tergabung dalam matriks rotasi R. Transformasi antara dua sistem koordinat yang berbeda  $\vec{x}_g$  dan  $\vec{x}_l$  bisa dideskripsikan secara matematis menggunakan *rigid body transformation* (Quintero, et al., 2008).

$$\vec{x}_g = R \cdot \vec{x}_l + \vec{t} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

$\vec{x}_g$  : vektor koordinat dalam sistem koordinat global

$\vec{x}_l$  : vektor koordinat dalam sistem koordinat lokal

R : matriks rotasi ( $\kappa, \varphi, \omega$ )

$\vec{t}$  : komponen translasi ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ )

Selanjutnya, faktor skala, atau matriks skala dari sumbu yang berbeda bisa diberikan. Umumnya matriks rotasi merupakan matriks yang ortogonal, dan harus memenuhi tiga syarat (Quintero, et al., 2008).

$$\begin{aligned} R^T &= R^{-1} \\ R \cdot R^T &= R^T \cdot R = 1 \\ \det R &= \pm 1 \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

Keterangan:

$R_i$  : Matriks rotasi

$R^T$  : Transpose dari matriks rotasi

$R^{-1}$  : Inverse dari matriks rotasi

Ada beberapa metode registrasi data *point clouds* yang bisa digunakan, teknik registrasi yang dipilih akan mempengaruhi teknik survei yang akan dilakukan nantinya sehingga harus dipilih berdasarkan kondisi objek dan area di sekitar objek (Quintero, et al., 2008).

1. *Target to Target Registration*

Metode registrasi ini adalah metode registrasi yang umum digunakan. Target yang digunakan dalam metode ini adalah target yang mempunyai reflektivitas tinggi dan dapat dikenali oleh alat sebagai target. Target tersebut digunakan sebagai titik ikat Metode registrasi ini adalah metode registrasi yang umum digunakan. Target yang digunakan dalam metode ini adalah target yang mempunyai reflektivitas tinggi dan dapat dikenali oleh alat sebagai target. Target tersebut digunakan sebagai titik ikat dari dua atau lebih tempat berdiri alat. Titik ikat tersebut yang menggabungkan kedua tempat berdiri alat sehingga mempunyai arah orientasi relatif yang sama.

2. *Cloud to Cloud Registration*

Registrasi ini menggunakan minimal 3 titik sekutu yang dimiliki dari kedua hasil scan. Konsep registrasi ini menggunakan metode *iterative closest point*. Maksud dari konsep ini adalah mencari offset atau jarak terdekat secara berulang-ulang dari kedua titik yang terdekat antara kedua kumpulan *point clouds*. Walaupun titik minimal yang diperlukan berjumlah 3 titik, namun untuk mendapatkan ketelitian yang baik, pertampalan dari *point clouds* harus di atas 30% sehingga akan menambah beban kerja pada proses pengambilan data.

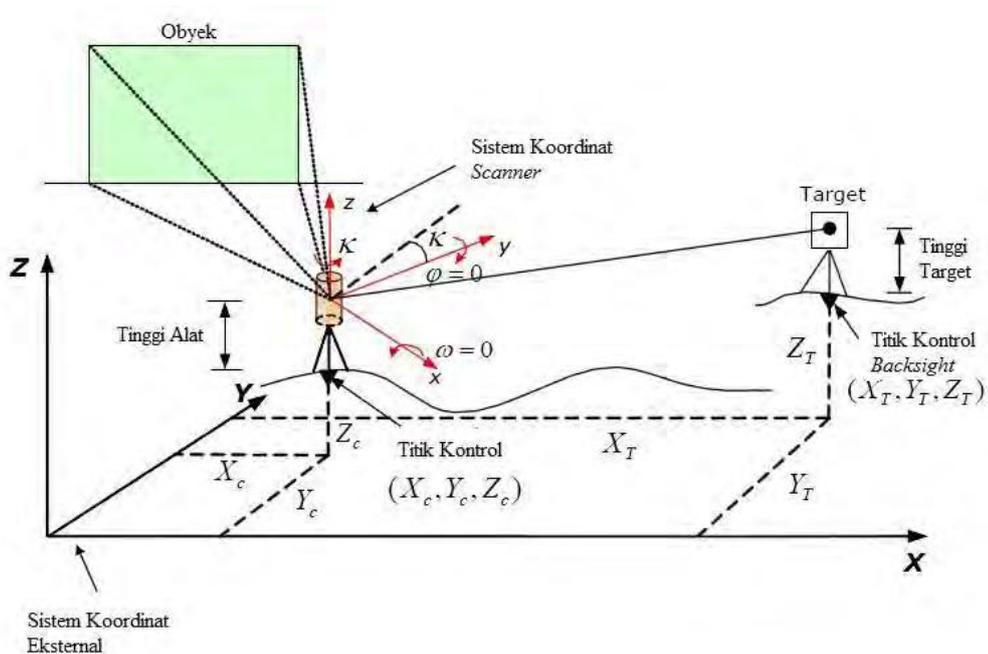
3. *Traversing*

Registrasi *traversing* menggunakan tempat berdiri alat sebagai titik sekutu dan memerlukan satu titik referensi sebagai titik awal backsight. Keunggulan metode ini adalah lebih cepat dalam menyelesaikan survei karena waktu untuk persiapan alat dan target tidak terlalu lama. Akan tetapi metode ini biasanya memberikan yang rendah dibandingkan dengan metode lainnya

#### II.4.4 Georeferensi

Georeferensi dilakukan agar data TLS terintegrasi dalam data geospasial. Georeferensi dilakukan dengan meregistrasi seluruh data *point clouds* dari objek ke dalam sistem koordinat global atau ke suatu sistem koordinat tertentu berdasarkan data pengukuran *benchmark* GNSS Geodetik. Terdapat dua jenis metode georeferensi, yaitu secara langsung dan tidak langsung (Reshetyuk, 2009).

Pada georeferensi secara langsung, perlu dua titik referensi yang diketahui koordinatnya. Satu titik referensi yang diketahui koordinatnya merupakan tempat berdiri alat sedangkan satu titik yang lain merupakan tempat berdiri target yang digunakan sebagai *backsight*. Tingkat akurasi teknik georeferensi secara langsung bergantung pada akurasi *centering laser scanner*, pendataran, pengukuran *backsight* dan pengukuran tinggi alat. Ilustrasi teknik georeferensi secara langsung dapat dilihat pada gambar II.11 di bawah ini.



Gambar II.11 Georeferensi secara langsung diperlukan dua buah titik referensi yang telah diketahui koordinatnya. Satu titik referensi sebagai tempat berdiri alat satu titik yang lain sebagai tempat berdiritarget yang digunakan sebagai backsight (Reshetyuk, 2009)

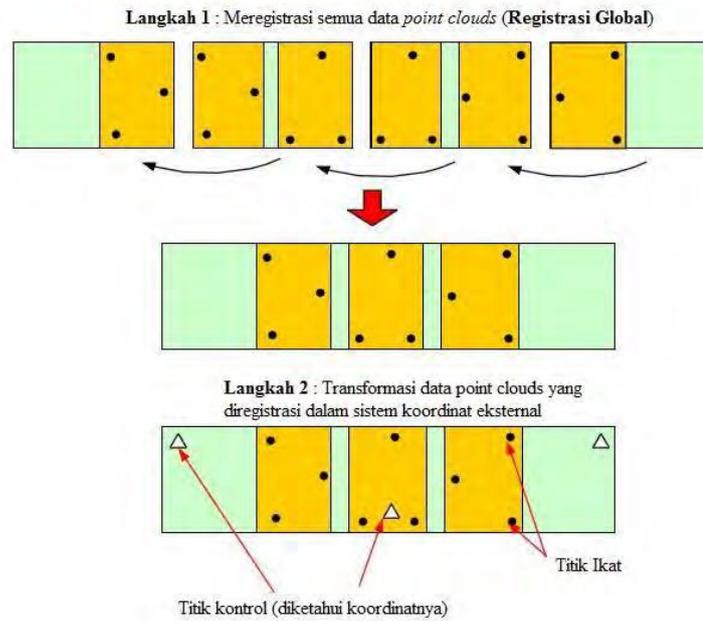
Pada georeferensi secara tidak langsung, digunakan target-target sebagai titik kontrol. Target-target tersebut diketahui nilai koordinatnya dalam sistem koordinat eksternal untuk mentransformasikan *point clouds* hasil pemindaian. Pada teknik georeferensi secara tidak langsung dibutuhkan minimal tiga titik target yang digunakan. Tiga titik target yang digunakan tersebut dibutuhkan untuk menentukan enam parameter orientasi luar. Ada tiga pendekatan dalam melakukan georeferensi secara tidak langsung, yaitu pendekatan dua tahap, satu tahap dan menggunakan *surface matching* (Reshetyuk, 2009). Tujuan georeferensi adalah menemukan transformasi yang tepat dari data *point clouds* ke dalam suatu sistem koordinat berdasarkan koordinat *benchmark*. Untuk rumus georeferensi diasumsikan memiliki kesamaan rumus transformasi dalam persamaan (8) di bawah ini.

$$\begin{aligned} x'_i &= A_{xi} + B_{yi} + C = sx_i \cos \theta + sy_i \sin \theta + t_x \\ y'_i &= -B_{xi} + A_{yi} + D = -sx_i \sin \theta + sy_i \cos \theta + t_y \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

Keterangan:

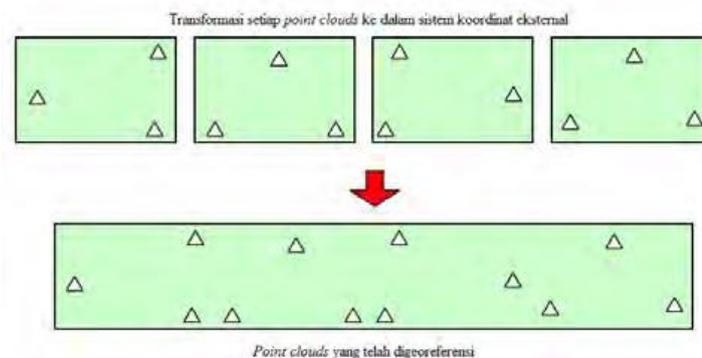
- $x'_i, y'_i$  : Koordinat hasil
- $x_i, y_i$  : Koordinat awal
- A, B, C, D : Fungsi transformasi
- s : Perbesaran skala
- $\theta$  : Sudut rotasi
- $t_x, t_y$  : Arah translasi

Pada georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan dua tahap, terlebih dahulu dilakukan registrasi *point clouds* yang diambil dari beberapa tempat berdiri alat. Tahap ini biasa disebut dengan global registration. Setelah melakukan tahapan global registration, *point clouds* ditransformasikan ke koordinat sistem eksternal. Untuk melakukan transformasi, diperlukan minimal tiga titik kontrol yang terdistribusi secara merata. Ilustrasi georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan dua tahap bisa dilihat pada gambar II.12.



*Gambar II.12 Georeferensi tidak langsung dengan pendekatan dua tahap diperlukan minimal tiga titik kontrol yang terdistribusi secara merata dan membutuhkan pertampalan antara hasil scanning dari tempat berdiri alat yang berbeda (Reshetyuk, 2009)*

Pada georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan satu tahap, tidak dibutuhkan pertampalan antara scanning dari tempat berdiri alat yang berbeda. Pada georeferensi secara tidak langsung dengan pendekatan satu tahap *pointclouds* dapat ditransformasi ke dalam sistem koordinat eksternal dengan menggunakan titik kontrol. Pada tahap ini dibutuhkan minimal tiga titik kontrol pada masing-masing tempat berdiri alat (Reshetyuk, 2009). Ilustrasi georeferensi tidak langsung dengan pendekatan 1 tahap bisa dilihat pada gambar II.13.



*Gambar II.13 Georeferensi tidak langsung dengan pendekatan dua tahap (Reshetyuk, 2009)*

## II.5 RMSE (*Root Mean Square Error*)

RMSE (*Root Mean Square Error*) adalah nilai perbedaan antara nilai yang dianggap benar atau paling baik dengan nilai hasil ukuran. Semakin besar nilai RMSE, maka semakin besar pula kesalahan hasil ukuran terhadap kondisi yang sebenarnya. RMSE didapatkan dari proses pembagian antara nilai akar kuadrat total selisih ukuran kuadrat dengan jumlah ukuran yang digunakan (Harvey, 2006). Rumus menghitung RMSE disajikan pada persamaan (9) dan (10) di bawah ini.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R - R_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

- RMSE : *Root Mean Square Error*
- R : Nilai yang dianggap benar
- R<sub>i</sub> : Nilai hasil ukuran
- n : Banyak ukuran yang digunakan

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum [(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2]}{n}} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

- RMSE : *Root Mean Square Error*
- X : Nilai koordinat X yang dianggap benar (m)
- X<sub>1</sub> : Nilai koordinat X hasil ukuran (m)
- Y : Nilai koordinat Y yang dianggap benar (m)
- Y<sub>1</sub> : Nilai koordinat Y hasil ukuran (m)
- Z : Nilai koordinat Z yang dianggap benar (m)
- Z<sub>1</sub> : Nilai koordinat Z hasil ukuran (m)
- n : Banyak ukuran yang digunakan

## II.6 Perambatan Kesalahan

Pada bidang survei, baik yang bersifat rekayasa dan keilmuan, nilai yang diukur secara langsung dilapangan sering dipakai untuk menghitung nilai lainya berdasarkan hubungan fungsional (model matematika). Jika hasil ukuran di lapangan mengandung kesalahan maka hasil perhitungan juga memiliki nilai kesalahan. Penentuan kesalahan hitungan sebagai fungsi kesalahan pengukuran disebut sebagai perambatan kesalahan yang dituliskan kedalam persamaan (19) di bawah ini (Ghilani, 2010).

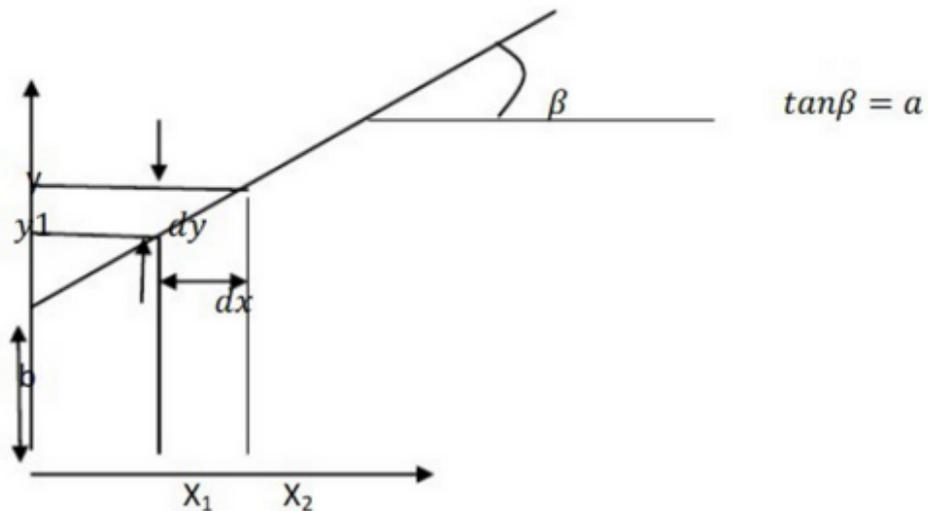
$$y = ax + b \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan

x : Nilai ukuran

y : Nilai baru yang baru dihitung dari x

Persamaan tersebut direpresentasikan oleh garis lurus pada gambar II.14 di bawah ini dengan koefisien a dan b diasumsikan tidak memiliki kesalahan.



Gambar II.14 Representasi persamaan kedalam garis lurus (Ghilani, 2010)

Berdasarkan penurunan rumus dari representasi garis lurus pada gambar II.14 dan persamaan (19) di atas diperoleh persamaan (20) di bawah ini.

$$dy = \frac{dy}{dx} dx + (dx)^2 \dots\dots\dots (20)$$

Jika terdapat lebih dari satu variabel dalam sebuah fungsi, maka aturan diferensial parsial harus diterapkan. Secara spesifik jika kesalahan  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$  disajikan dengan  $dx_1, dx_2, dx_3, \dots, dx_n$  maka kesalahan  $y$  ditulis dengan persamaan (21) sebagai berikut.

$$dy = \frac{dy}{dx} dx + (dx)^2 \dots\dots\dots (21)$$

Dimana nilai diferensial parsial  $\frac{\partial y}{\partial x_1} dx_1, \frac{\partial y}{\partial x_2} dx_2, \dots, \frac{\partial y}{\partial x_n} dx_n$  dihitung pada nilai  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$

### II.7 Strength of Figure (SoF)

SoF (*Strength of Figure*) ialah bentuk kekuatan geometri dari rangkaian segitiga yang menentukan penyebaran kesalahan dalam perataan jaring. Kekuatan geometrik jaring segitiga yang baik dicerminkan oleh nilai SoF yang kecil. Nilai SoF yang kecil akan menjamin ketelitian yang merata pada seluruh jaring. Perhitungan ini penting dan berguna untuk menentukan susunan pada sistem triangulasi dan mempertahankan tingkat presisi yang diinginkan. Pengukuran menggunakan model radial, nilai SoF dihitung dengan menggunakan metode parameter dengan persamaan (11) di bawah ini (Abidin, 2000).

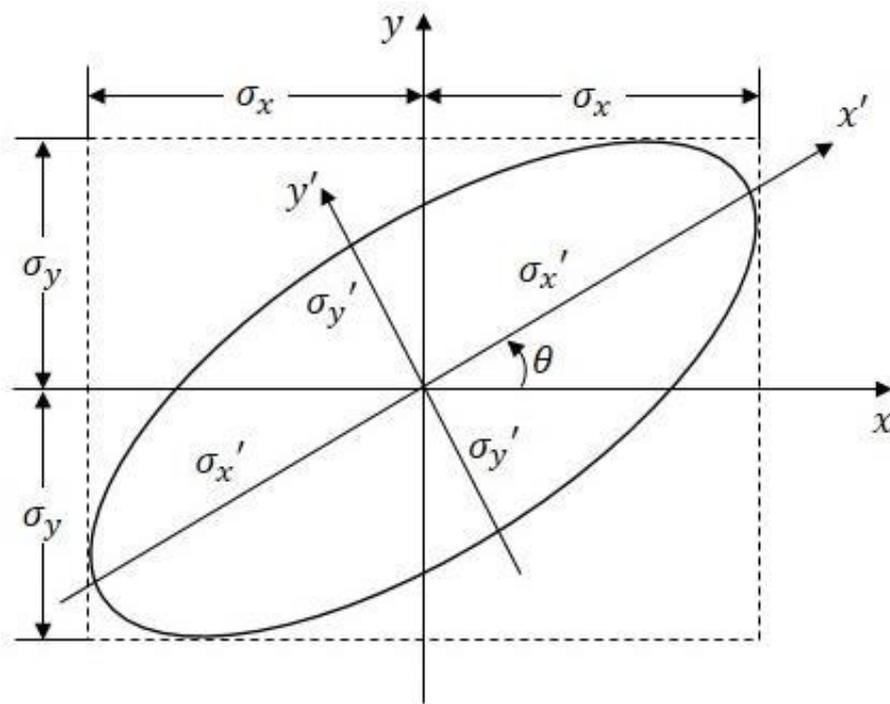
$$Sof = \frac{trace(A^T \times A)^{-1}}{n-u} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

- A : Matriks desain
- n : Jumlah persamaan
- u : Jumlah parameter

## II.8 Ellips Kesalahan

Ellips Kesalahan adalah suatu cara untuk menampilkan nilai ketelitian dalam bentuk grafis. Nilai ketelitian yang dimaksud adalah nilai varian dan kovarian parameter. Secara umum penyajian grafis ellips kesalahan meliputi sumbu semi-minor dan sumbu semi-mayor tidak berimpit pada sumbu X dan Y, melainkan membentuk sudut  $\theta$  terhadap sumbu X (Ghilani, 2010), yang dijelaskan gambar II.15 di bawah ini.



*Gambar II.15 Penggambaran ellips kesalahan dimana sumbu semi minor dan semi mayor tidak berimpit pada sumbu X dan Y melainkan membentuk sudut  $\theta$  terhadap sumbu X*

Ellips kesalahan memberikan informasi secara kritis terhadap ketelitian posisi titik stasiun yang diratakan, manfaat utama dari ellips kesalahan yaitu memberikan metode dalam membuat perbandingan secara visual dari ketelitian secara relatif antara dua titik stasiun. Dengan melihat bentuk, ukuran dan orientasi dari ellips kesalahan, maka beberapa survey pengukuran dapat dibandingkan secara cepat dan jelas. Untuk menentukan sumbu panjang ellips ( $\sigma_x'$ ), Sumbu pendek ellips ( $\sigma_y'$ ), dan arah serta besar rotasi sumbu ellips ( $\theta$ ) menggunakan persamaan (22) sampai (24) di bawah ini (Ghilani, 2010).

$$\sigma^2_{x'} = \frac{\sigma^2_x + \sigma^2_y}{2} + \left[ \frac{(\sigma^2_x - \sigma^2_y)}{4} + \sigma^2_{xy} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (22)$$

$$\sigma^2_{x'} = \frac{\sigma^2_x + \sigma^2_y}{2} - \left[ \frac{(\sigma^2_x - \sigma^2_y)}{4} + \sigma^2_{xy} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (23)$$

$$\tan 2\theta = \frac{2\sigma_{xy}}{\sigma^2_x - \sigma^2_y} \dots\dots\dots (24)$$

Keterangan

$\sigma^2_x$  : Variansi x

$\sigma^2_y$  : Variansi y

$\sigma^2_{xy}$  : Variansi xy

## II.9 Uji Statistik

Hipotesis merupakan jawaban sementara yang hendak diuji kebenarannya. Tidak semua penelitian memerlukan hipotesis, penelitian yang bersifat eksploratif dan deskriptif tidak memerlukan hipotesis. Pengujian hipotesis dengan distribusi t adalah pengujian hipotesis yang menggunakan distribusi t sebagai uji statistik. Tabel pengujianya disebut tabel *t-student*. Distribusi t pertama kali diterbitkan pada tahun 1908 dalam satu makalah oleh W.S Gosset. Uji-t termasuk dalam golongan statistika parametrik. Uji statistik ini digunakan dalam pengujian hipotesis. Uji-t digunakan ketika informasi mengenai nilai varians (ragam) populasi tidak diketahui. Uji statistik ini kemudian dibandingkan dengan nilai yang ada pada tabel untuk kemudian menerima atau menolak hipotesis nol ( $H_0$ ) yang dikemukakan (Mikhail & Gracie, 1981) Pengujian sampel dalam distribusi t dibedakan menjadi dua jenis hipotesa, yaitu:

- a. Satu rata-rata

$$t_o = \frac{x - \mu}{s / \sqrt{n}} \dots\dots\dots (12)$$

Rumus diatas adalah untuk menghitung nilai t dengan  $t_0$  adalah nilai t yang dihitung,  $\bar{x}$  adalah rata-rata sampel,  $\mu$  adalah rata-rata populasi,  $s$  adalah standar deviasi dan  $n$  adalah jumlah sampel.

Penyusunan hipotesanya adalah:

- i.  $H_0 : \mu_1 = \mu_2$   
 $H_a : \mu_1 \neq \mu_2$
- ii.  $H_0 : \mu_1 \leq \mu_2$   
 $H_a : \mu_1 > \mu_2$
- iii.  $H_0 : \mu_1 \geq \mu_2$   
 $H_a : \mu_1 < \mu_2$

Apabila data yang diambil dari hasil eksperimen, maka langkah yang harus dilakukan sebelum mencari t hitung adalah:

- i. Menentukan rata-rata nya terlebih dahulu:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots (13)$$

Rumus diatas adalah untuk mencari rata-rata dari suatu sampel dengan  $\bar{x}_i$  adalah rata-rata sampel,  $\sum x$  adalah sampel dan  $n$  adalah jumlah sampel

- ii. Menentukan standar deviasi:

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \dots\dots\dots (14)$$

$$S = \sqrt{S^2} \dots\dots\dots (15)$$

Rumus diatas adalah untuk mencari nilai standar deviasi dari suatu sampel. Dengan  $S^2$  adalah simpangan baku suatu sampel,  $\sum (x_i - \bar{x})^2$  adalah jumlah sampel dan  $S$  adalah standar deviasi.

- b. Dua rata-rata

$$t_0 = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - d_0}{\sqrt{(S_1^2 / n_1) + (S_2^2 / n_2)}} \dots\dots\dots (16)$$

Rumus diatas adalah untuk mencari nilai rata-rata dua kelompok sampel dengan syarat  $S_1 \neq S_2$ .  $\bar{x}$  adalah sampel (pertama dan kedua).  $d_0$

adalah selisih  $\mu_1$  dengan  $\mu_2$  ( $\mu_1 - \mu_2$ ).  $S$  adalah standar deviasi dan  $n$  adalah jumlah sampel

Penyusunan hipotesisnya adalah:

i.  $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = d_0$

$H_a : \mu_1 - \mu_2 \neq d_0$

ii.  $H_0 : \mu_1 - \mu_2 \leq d_0$

$H_a : \mu_1 - \mu_2 > d_0$

iii.  $H_0 : \mu_1 - \mu_2 \geq d_0$

$H_a : \mu_1 - \mu_2 < d_0$

$\bar{X}$  diasumsikan terdistribusi normal, atau setidaknya didistribusikan mendekati normal. Berdasarkan hipotesis bahwa  $\mu = \mu_0$ , Pernyataan probabilitas berikut dapat berasal dari rumus (17) di bawah ini dengan asumsi  $\sigma$  diketahui yaitu.

$$P[(\mu_0 - c) < \bar{X} < (\mu_0 + c)] = 2\Phi(z) - 1 \dots\dots\dots (17)$$

Dimana  $c = z\sigma/\sqrt{n}$

Jika  $\sigma$  tidak diketahui, pernyataan probabilitas berikut dapat diturunkan dari persamaan (18) di bawah ini.

$$P[(\mu_0 - c) < \bar{X} < (\mu_0 + c)] = 2F(t) - 1 \dots\dots\dots (18)$$

Dimana  $c = ts/\sqrt{n}$

$H_0$  diterima jika  $\bar{x}$ , nilai tertentu  $\bar{X}$  dihitung dari sampel, terletak diantara  $\mu_0 - c$  dan  $\mu_0 + c$ , dan begitu sebaliknya (Mikhail & Gracie, 1981).