BAB II

LANDASAN TEORI

Pada bab ini akan menerangkan teori-teori penunjang untuk merancang sebuah sistem estimasi posisi menggunakan kalman filter dan multi GNSS untuk meningkatkan akurasi dan keandalan data GNSS pada roket *electric ducted fan* (EDF), adapun teori-teori tersebut akan dipaparkan sebagai berikut.

Global Navigation Satellites System (GNSS)

Global Navigation Satellite System (GNSS) merupakan suatu sistem yang dapat digunakan untuk mendapatkan data waktu dan posisi yang berasal dari hasil perhitungan sinyal yang secara terus menerus dipancarkan oleh konstelasi satelit.. GNSS yang berfungsi saat ini dan mencakup area global adalah *Global Positioning System* (GPS) yang dimiliki oleh Amerika Serikat, *BeiDou Navigation Satellite System* (BDS) yang dimiliki oleh China, *Global Navigation Satellite System* (GLONASS) yang dimiliki oleh Rusia, dan Galileo yang dimiliki dan dikelola oleh Uni Eropa. Beberapa negara lain juga memiliki sistem pemposisian menggunakan satelit yang mencakup area terbatas seperti *Quasi-Zenith Satellite System* (QZSS) dari Jepang untuk meningkatkan akurasi GPS dan *Indian Regional Navigation Satellite System* (IRNSS) yang dimiliki India. Data yang didapatkan dari GNSS memiliki peran yang sangat penting dalam navigasi secara *autonomous*

Dalam sistem navigasi *autonomous* pada roket EDF diperlukan data posisi agar dapat diketahui lokasi dari wahana tersebut, data tersebut berupa koordinat posisi

longitude, *latitude*, ketinggian dan waktu. Selain itu kecepatan pergerakan wahana dapat diketahui dari besarnya waktu perpindahan yang dilakukan oleh wahana. Dalam penerapannya sistem GNSS memiliki berbagai fungsi salah satunya sebagai nilai masukan bagi sistem navigasi, sistem navigasi berbasis GNSS digunakan jika jalur dari navigasi suatu wahana tersebut tidak jelas atau tidak memiliki jalur yang tetap[7]. Dalam penentuan posisi sinyal-sinyal satelit akan dikalkulasikan oleh perangkat penerima menjadi sistem koordinat bumi dan menjadikan nilainnya dalam bentuk *longitude, latitude,*dan ketinggian dari suatu titik pada suatu peta. Berikut adalah GNSS komersil ditunjukan pada **Gambar 2.1**.

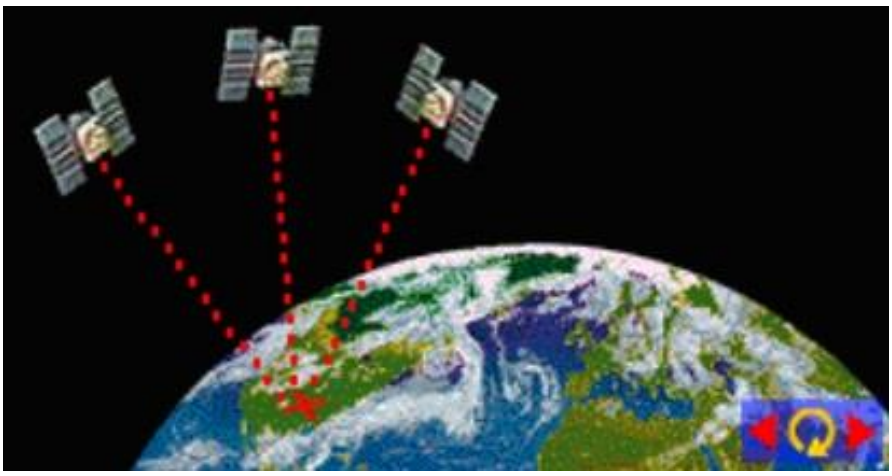
Gambar 2. 1 GNSS komersil U-blox M8N

Perangkat elektronika atau *device* yang digunakan pada penelitian ini adalah GNSS komersil U-blox M8N. GNSS tipe ini merupakan hasil pengembangan dari perangkat GNSS generasi sebelumnya U-blox M6N dan U-blox M7N. U-blox M8N dapat menerima sinyal satelit dari GNSS GPS, GLONASS, Galileo, dan BeiDou. U-blox M8N dapat digunakan dengan sistem komunikasi UART, Serial, USB dan DDC. U-blox M8N memiliki frekuensi pembacaan posisi maksimal sebesar 10 Hz. Selain itu ublox M8N dapat bekerja pada suhu maksimum 80^{o}C dengan akurasi pembacaan posisi

sejauh 2.5m pada kondisi terbaiknya. U-blox M8N dapat bekerja secara maksimal pada roket EDF ketika digunakan diluar ruangan. U-blox M8N dapat menerima sinyal hingga 24 satelit, karena keakurasianya yang baik GNSS U-blox M8N sangat banyak diaplikasikan pada alat industri dan kendaraan *autonomous*.

Penentuan Posisi dan Sistem Koordinat

Pada dasarnya sistem pemposisian membutuhkan minimal tiga buah sinyal satelit untuk mendapat data posisi menggunakan metode *trilateration*, akan tetapi pada GNSS U-blox M8N dibutuhkan minimal empat buah satelit. Selain itu GNSS U-blox M8N dilengkapi dengan sensor kompas yang dapat mengetahui arah atau *heading* dari GNSS tersebut menghadap kearah bumi bagian yang terbacanya [8]. GNSS receiver harus berada pada lokasi *line-of sight* (LoS) terhadap ketiga satelit tersebut untuk menentukan posisi, maka dari itu GNSS hanya ideal untuk digunakan di lokasi *outdoor*. Berikut adalah ilustrasi penentuan lokasi menggunakan GNSS ditunjukan pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2. 2 Penentuan lokasi menggunakan GNSS

Penerima GNSS akan mengukur waktu rambat sinyal satelit sehingga didapatkan jarak antara satelit dan penerima. Dari hasil pengukuran penerima GNSS akan didapatkan data dengan format khusus. Data tersebut dapat dicacah untuk mendapatkan informasi tertentu.

Format Data GNSS

Data yang diberikan GNSS memiliki format khusus sebagai standar internasional. NMEA adalah singkatan dari *National Marine Electronics Association*. NMEA dibuat oleh grup penyedia komponen elektronik dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas komunikasi, jauh sebelum sistem pemposisian menggunakan satelit ditemukan. Saat ini format NMEA menjadi standar bagi semua jenis penerima GNSS. Penggunaan format data berbentuk NMEA memberikan pengguna memiliki keuntungan pada gabungan *hardware* dan *software*. Tersedianya jenis GNSS yang beraneka ragam menjadikan NMEA memiliki beberapa tipe engan keterbatasan yang berbeda. Tipe data NMEA terdapat beberapa macam. Data NMEA diawali oleh karakter "$" kemudian diikuti oleh 2 karakter *Talker ID* dan karakter identifikasi. *Talker ID* pada data NMEA ditunjukkan pada **Tabel 2.**1.

Tabel 2. 1 Kode *Talker ID* pada data NMEA

No	Talker ID	Keterangan
1	GP	Digunakan ketika hanya sistem satelit GPS yang terkunci

2	GL	Digunakan ketika hanya sistem satelit GLONASS yang terkunci
3	GA	Digunakan ketika hanya sistem satelit GALILEO yang terkunci
4	GN	Digunakan ketika didapatkan lebih dari satu sistem satelit

Tipe data NMEA yang paling popular adalah $GNGGA. Berikut adalah contoh data NMEA ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.

"*$GNGGA,181908.00,6.7041778,N,107.3966270,W,4,13,1.00,495.144,M,29.200,M,0.10,0000*40*"

Gambar 2. 3 Contoh Data NMEA

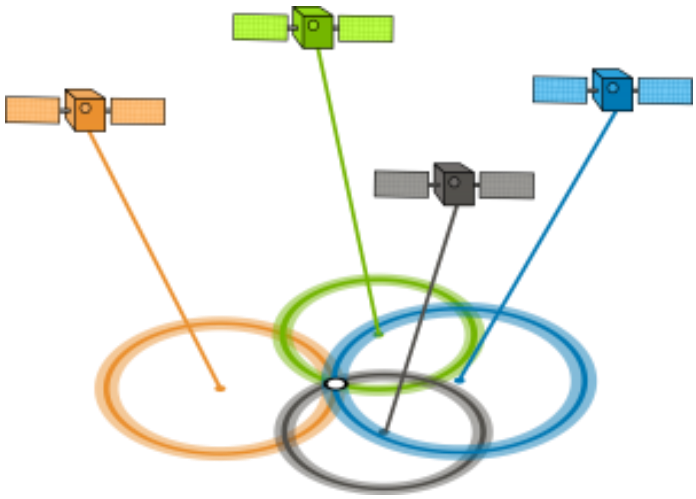
Semua data NMEA diawali karakter "$", dan disetiap bagian data dipisahkan oleh karakter ",". Berikut ini adalah penjelasan bagian data NMEA pada **Gambar 2.3**.

1) *Talker ID* (XX), Kode **GN** pada **GNGGA** menyatakan bahwa data yang didapatkan tersebut merupakan data posisi pada U-blox M8N yang menggunakan dua buah sistem navigasi satelit baik itu GPS+GLONASS atau GPS+BeiDou.
2) *SENTENCE ID* (XXX)**,** kode **GGA** menyatakan bahwa data tersebut adalah data pemposisian secara global dengan informasi tambahan yang lengkap.

3) *UTC of Poition*, (hhmmss.ss), menyatakan informasi waktu saat data didapatkan.
4) *Latitude* (xxxx.xxxxxxx), menyatakan posisi pada koordinat latitude
5) *Hemisphere of latitude* (N/S), menyatakan posisi koordinat latitude pada bagian bumi Utara atau Selatan.
6) *Longitude* (xxxx.xxxxxxx), menyatakan posisi pada koordinat longitude
7) *Hemisphere of longitude* (E/W), menyatakan posisi koordinat latitude pada bagian bumi Timur atau Barat.
8) *GPS quality indicator* (X), 0: GNSS tidak tersedia; 1: GNSS valid; 4:RTK fix; 5:RTK float.
9) *Number of Satellites* (xx), menyatakan jumlah satelit yang digunakan untuk menentukan posisi.
10) *HDOP* (xx.x), menyatakan tingkat error kepresisian pada pemposisian horizontal.
11) *Altitude* (x.xx), menyatakan ketinggian penerima GNSS.
12) *Unit of altitude* (M), satuan hitung ketinggian.
13) *Geoidal separation* (x.xx), menyatakan ketinggian penerima GNSS.
14) *Unit of geoidal eparation* (M), satuan hitung *geoidal separation.*
15) *Age of differential data*, menyatakan perbedaan waktu
16) *Differential reference station ID*, menyatakan ID stasiun referensi diferensial.

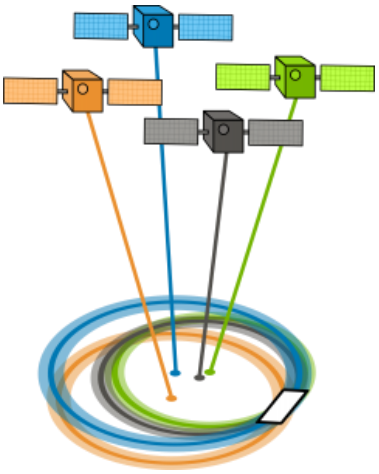
Horizontal dilution of precision (HDOP)

Horizontal dilution of precision (HDOP) adalah nilai yang didapatkan dari pengukuran posisi. HDOP menyatakan nilai error yang diakibatkan oleh posisi relatif konstelasi satelit. Posisi satelit yang menyebar luas dapat memberikan kepresissian data yang baik [9]. Berikut ini adalah ilustrasi dari posisi satelit di angkasa yang tersebar ditunjukan pada **Gambar 2.4.**



Gambar 2. 4 Posisi saelit tersebar berjauhan

Posisi satelit yang menyebar memberikan daerah irisan posisi yang lebih kecil. Kondisi seperti ini biasanya didapatkan ketika berada di area terbuka yang luas, sehingga didapatkan nilai error yang lebih kecil. Kondisi error yang besar akan didapatkan jika posisi satelit yang terlihat berada pada jarak yang dekat. Berikut adalah ilustrasi posisi satelit yang berdekatan ditunjukan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2. 5 Posisi satelit berdekatan

Posisi satelit yang menyebar memberikan daerah irisan posisi yang lebih luas. Kondisi seperti ini biasanya didapatkan ketika berada di area dengan gangguan yang banyak, sehingga didapatkan nilai error yang lebih besar.

Kesalahan Dalam Pengukuran Posisi

Dalam pengukuran menggunakan sensor tentu terdapat sebuah kesalaharn. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kesalahan pengukuran sensor GNSS, baik itu berasal dari alam, alat, atau manusia. Beberapa faktor tersebut diantaranya:

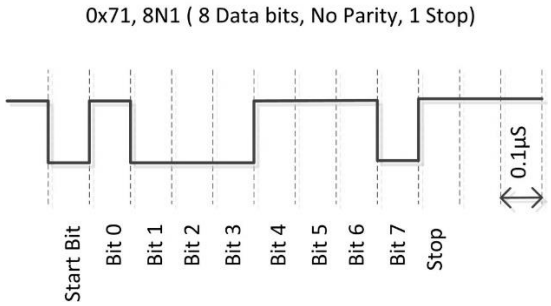
1) Posisi satelit, posisi satelit pada orbit dapat mempengaruhi akurasi posisi, kondisi ideal adalah ketika satu satelit berada diatas penerima dan yang lainya tersebar di sekitar penerima berjauhan. Posisi satellite yang berdekatan memiliki nilai pseudorange yang tidak jauh berbeda, sehingga didapatkan error yang sama.

2) *Satellite clock error*, jam atom pada satelit haruslah sangat akurat. Pergeseran waktu sebesar 10ns dapat menghasilkan error yang besar pada pengukuran posisi[10,11].
3) kesalahan orbit, kesalahan orbit satelit yang dikirimkan tidak sama dengan orbit satelit yang sebenarnya, kesalahan orbit dapat mempengaruhi ketelitian posisi.
4) Pengaruh lapisan Ionosfer, Lapisan Ionosfer bumi yang berada pada ketinggian 1000km dapat merubah kecepatan, arah dan polarisasi sinyal satelit yang menuju bumi yang diakibatkan oleh ionisasi gas akibat radiasi matahari. Efek Ionosfer yang sering terjadi ialah perubahan pada kecepatan rambat sinyal yang menyebabkan sinyal datang terlambat.
5) Pengaruh lapisan Troposfer, sama seperti pada lapisan Ionosfer pada lapisan ini sinyal satelit dapat mengalami refraksi yang diakibatkan oleh gas basah dan kering sehingga menyebabkan perubahan pada arah sinyal.
6) *Multipath*, *multipath* dapat terjadi akibat interferensi sinyal-sinyal satelit yang diterima antena melalui dua atau lebih lintasan yang berbeda. Objek yang dapat menjadi reflector penyebab terjadinya *multipath* dapat berupa gedung, kendaraan, permukaan air, dan bidang vertikal.
7) *Cycle slip*, terputusnya sebuah gelombang dalam proses pengukuran karena tidak dapat terbaca oleh *receiver*.

Komunikasi Serial 8-bit

Komunikasi serial adalah komunikasi yang pengiriman datanya per-bit secara 3membutuhkan satu jalur dan kabel yang sedikit dibandingkan dengan komunikasi paralel. Pada prinsipnya komunikasi serial merupakan komunikasi dimana pengiriman data dilakukan per-bit sehingga lebih lambat jika dibandingkan dengan komunikasi paralel, atau dengan kata lain komunikasi serial merupakan salah satu metode komunikasi data di mana hanya satu bit data yang dikirimkan melalui satu jalur pada waktu tertentu.

Komunikasi serial ada dua macam, *asynchronous serial* dan *synchronous serial*. *Synchronous serial* adalah komunikasi dimana hanya ada satu pihak (pengirim atau penerima) yang menghasilkan *clock* dan mengirimkan *clock* tersebut bersama-sama dengan data. Sedangkan *asynchronous serial* adalah komunikasi dimana kedua pihak (pengirim dan penerima) masing-masing menghasilkan *clock* namun hanya data yang ditransmisikan, tanpa *clock*. Contoh penggunaan *asynchronous serial* adalah pada *Universal Asychronous Receiver Transmitter* (UART) yang digunakan pada serial port (COM) komputer. Pada *asynchronous* mode paket data yang dikirimkan memiliki bit tambahan sebagai pembuka dan penutup. Komunikasi serial 8 bit sering digunakan dalam komunikasi serial saat ini dengan format 8-N-1. Berikut adalah format pengiriman data 8 bit melalui komunikasi serial dengan format 8-N-1 dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2. 6 Komunikasi Serial 8-bit

Pada komunikasi serial 8 bit memungkinkanya pengiriman karakter ASCII yang disandikan dalam bentuk biner dengan format satu *start* bit, 8 data bit, dan satu *close* bit sehingga satu paket data berjumlah dari 10 bit. Setiap bitnya dikirimkan menggunakan jalur yang sama [12].

Kalman Filter

Kalman filter adalah algoritma penggabungan data pengukuran yang bernoise berdasarkan model prediksi[13]. Metode filter ini dapat memberikan estimasi optimal pada sistem. Sensor yang biasa digunakan pada algoritma penggabungan ialah GNSS, accelerometer, gyroscope, compass, dan lain lain. Nilai yang diestimasi dapat berupa posisi, kecepatan, akselerasi, ketinggian, atau variabel yang memiliki keterkaitan. Metode penggabungan data terbagi menjadi dua langkah, tahap pertama adalah prediksi dan tahap selanjutnya adalah update dari hasil pengukuran. Pada langkah prediksi nilai variabel yang diestimasi akan diperkirakan menggunakan model. Pada langkah update, hasil prediksi nilai variabel akan dikoreksi menggunakan pembobotan dari hasil pengukuran sensor. Kalman filter dapat dituliskan dalam persamaan matematis.

- *Predict*

$$\hat{x}_k = A\hat{x}_{k-1} + w_k$$

$$P_k = AP_{k-1}A^T + Q$$

- *Update*

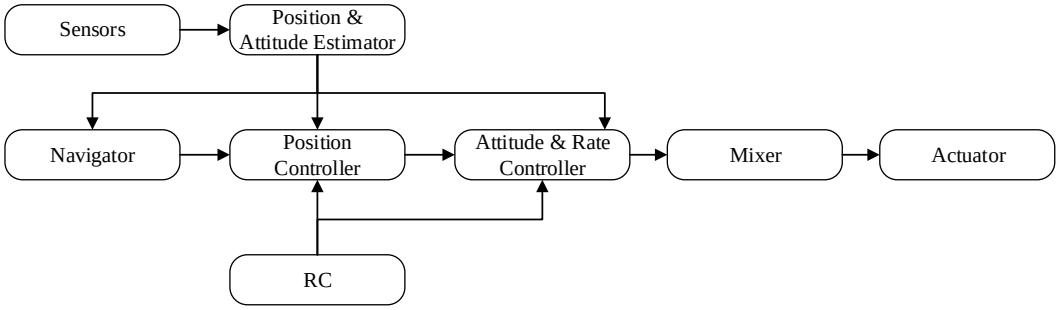
$$G_k = P_k C^T (CP_k C^T + R)^{-1}$$

$$\hat{x}_k \leftarrow \hat{x}_k + G_k(z_k - C\hat{x}_k)$$

$$P_k \leftarrow (I - G_k C)P_k$$

Sistem Navigasi *Autonomous*

Pada roket EDF, *flight controller* menggunakan hasil pembacaan beberapa sensor yang dijadikan sebagai acuan wahana untuk bernavigasi secara *autonomous*. *Flight controller* akan berusaha untuk mengarahkan dan menyetabilkan sikap roket EDF sesuai misi yang telah diprogram. Secara garis besar blok diagram sistem *autonomous* dapat dilihat pada **Gambar 2.7.**



Gambar 2. 7 Blok diagram sistem otonom wahana terbang

Penjelasan **Gambar 2.7** adalah sebagai berikut

1. Sensor, adalah sekumpulan modul yang ada pada wahana yang dapat mengambil data perubahan pada wahana.
2. *Position and attitude estimator* adalah bagian dimana hasil pembacaan posisi dari GNSS akan digabungkan terlebih dahulu menjadi satu data.
3. *Remote Controller (RC)* berfungsi sebagai *input* bagi wahana dan juga sebagai pengaman dalam keadaan darurat.
4. *Navigator, position controller,* dan *attitude & rate controller* merupakan mikrokont*roll*er yang berfungsi sebagai pemroses utama pada sistem yang akan mengeluarkan perintah kepada aktuator.
5. *Mixer* merupakan sebuah perintah lansung dari mikrokont*roll*er yang dirubah menjadi perintah bagi setiap aktuator dan mengontrol aktuator tidak melebihi batas yang ditentukan
6. *Actutor* adalah komponen keluaran yang dapat menghasilkan gerak dari wahana.

Dalam melaksanakan misi *autonomous* pada roket EDF, sistem navigasi yang digunakan berbasis *waypoint*. *Waypoint* adalah sekumpulan titik koordinat posisi pada peta. Dalam satu *waypoint* biasanya terdapat informasi *latitude*, *longitude*, radius, dan *altitude*. Adapun gambaran pembuatan rencana terbang berbasis *waypoint* dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.

Gambar 2. 8 Pembuatan rencana terbang berbasis *waypoint*

Waypoint dibagi menjadi dua jenis, yaitu *waypoint fly by* dan *waypoint fly over* [4]. *Waypoint fly by* tidak melewati lokasi di atas *waypoint* namun tetap menuju ke arah tujuan, sedangkan *waypoint fly over* harus tepat melewati lokasi di atas *waypoint*. Setelah satu *waypoint* terlewati, maka operator harus menetapkan *waypoint* berikutnya yang disebut dengan *waypoint* aktif dalam setiap menjalankan misi [15,16].