

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Landasan Teori

Pada penelitian ini penulis menggunakan beberapa tinjauan pustaka yang menjadi dasar acuan sebagai pendukung dasar landasan penelitian berikut ini beberapa tinjauan pustaka yang digunakan dapat dilihat pada tabel :

Tabel 2.1 Tinjauan Pustaka

Nomor Literatur	Penulis	Tahun	Judul
Literatur 1	Lasmadi, Adha Cahyadi , Risanuri Hidayat	2016	Implementasi Kalman Filter untuk Navigasi Quadrotor Berbasis Sensor Accelerometer
Literatur 2	Muhammad Ari Roma Wicaksono, Freddy Kurniawan, Lasmadi	2020	Kalman Filter untuk Mengurangi Derau Sensor Accelerometer pada IMU Guna Estimasi Jarak
Literatur 3	Wisnu Pamungkas , Bakhtiar Alldino Ardi Sumbodo , Catur Atmaji	2017	Implementasi Kalman Filter Pada Kendali Roket EDF

Literatur 4	Lasmadi, Freddy Kurniawan, Muhammad Irfan Pamungkas	2021	Estimasi Sudut Rotasi Benda Kaku berbasis IMU menggunakan Kalman Filter
Literatur 5	Lasmadi, Muhammad Ali Dakir, Freddy Kurniawan, Sudarmanto	2023	Koreksi Sudut Attitude Quadrotor pada saat Dinamis dengan Mengubah Bobot Data Sensor pada Kalman Filter

2.1.1 Tinjauan Pustaka Literatur 1

Pemaparan pada literatur ini penulis mengangkat judul “Implementasi Kalman Filter untuk Navigasi Quadrotor Berbasis Sensor Accelerometer” Sistem navigasi mengambil peran yang penting pada sistem Unmanned Aircraft System (UAS). Navigasi pada robot mobile merupakan subyek penting untuk mencapai dua tujuan penting, mencapai tujuan akhir dan menghindari crash terhadap hambatan di jalan untuk mencapai tujuan. Sebuah UAS atau dikenal sebagai drone adalah sebuah pesawat dan unsur terkait yang dioperasikan tanpa pilot didalamnya. Quadrotor merupakan salah satu jenis UAS yang ukurannya tidak terlalu besar, sehingga tidak membutuhkan tempat yang luas untuk mendarat dan memiliki kemampuan bermanuver yang lihai dibanding wahana yang lain. Quadrotor telah banyak digunakan di berbagai bidang, antara lain, untuk pemantauan lalu lintas, inspeksi situs berbahaya, pemantauan bencana alam, pengendalian hama dan penyakit pada bidang pertanian dan kehutanan, serta pada bidang meteorologi. Navigasi dan orientasi memerlukan sensor-sensor dan fasilitas komputasi untuk menghitung parameter kecepatan, posisi dan orientasi. Untuk mengetahui posisi

suatu obyek relatif terhadap bumi, dapat digunakan kompas, peta, radar, atau dengan GPS (Global Positioning System). Namun, Informasi GPS memiliki keterbatasan dalam lingkungan tertentu, seperti di bawah pohon, di dalam gedung, di dalam terowongan, gedung tinggi, di bawah air, dan di dalam ruangan. Selain itu, sinyal GPS tidak kebal terhadap jamming. Penerima GPS standar dapat memberikan akurasi posisi 5 - 10 m pada tingkat pembaruan antara 1 dan 10 Hz. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam sistem navigasi dan orientasi ketika tidak tersedia sinyal GPS disebabkan pengaruh lingkungan adalah Inertial Navigation Systems (INS). Inertial Measurement Unit (IMU) merupakan suatu unit dalam modul elektronik terdiri dari kombinasi accelerometer (sensor percepatan) dan gyroskop (sensor kecepatan sudut). Sebuah gyroskop atau girokompas mengukur laju sudut pada poros tertentu. Accelerometer mengukur gaya spesifik, yang sebenarnya adalah total percepatan relatif terhadap jatuh bebas. Berdasarkan hasil simulasi, Kalman Filter dapat memberikan performa yang baik dalam menapis derau proses maupun derau pengukuran. Sehingga, diharapkan Kalman Filter dapat diterapkan untuk sistem navigasi quadrotor berbasis sensor inersia, accelerometer, untuk menentukan posisi quadrotor. Dalam eksperimen, hanya digunakan satu poros koordinat bodi pada sensor accelerometer (gerak satu dimensi). Untuk gerak tiga poros (x, y, dan z) masih perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui apakah masing-masing tidak saling mempengaruhi. Selanjutnya, Kalman Filter juga bisa diterapkan pada sensor gyroskop untuk menapis derau pada sensor. (Lasmadi, Adha Cahyadi, Risanuri Hidayat, 2016).

2.1.2 Tinjauan Pustaka Literatur 2

Pemaparan pada literatur ini penulis mengangkat judul penelitian “*Kalman Filter* untuk Mengurangi Derau Sensor Accelerometer pada IMU Guna Estimasi Jarak”. Pada penelitian ini menggunakan metode pemodelan sistem dan *state space* sebelum memasukkan data ke dalam algoritma *Kalman Filter*. Metode pemodelan digunakan untuk memodelkan sistem pada sensor accelerometer yang keluarannya sebagai data akselerasi ke bentuk persamaan matematis hingga keluar hasil berupa jarak perpindahan. Sementara itu, metode *state space* digunakan untuk mengubah bentuk persamaan dari pemodelan ke dalam operasi matriks. Setelah melalui dua tahap tersebut data diolah menggunakan algoritma dari *Kalman Filter*. Algoritma

yang dirancang juga menggunakan algoritma koreksi kondisi statis untuk membatasi proses pengukuran supaya saat benda statis tidak terbaca dalam kondisi bergerak konstan (Muhammad Ari Roma Wicaksono,2020).

2.1.3 Tinjauan Pustaka Literatur 3

Pemaparan pada literatur ini penulis mengangkat judul “Implementasi Kalman Filter Pada Kendali Roket EDF”. Roket merupakan suatu objek terbang otomatis yang diterbangkan dengan suatu tujuan khusus. Roket akan mampu terbang dengan stabil jika dilengkapi dengan sistem kendali. Selain itu roket juga membutuhkan data dari berbagai macam sensor yang telah difilter datanya untuk mendeteksi kondisi sekitar serta sikap roket ketika terbang. Dalam hal ini yang akan memberikan data masukan sensor adalah sensor IMU (Inertial Measurement Unit) sehingga dapat diketahui nilai-nilai yang diperlukan. Roket EDF (electric ducted fan) merupakan suatu objek terbang berbentuk menyerupai peluru dengan menggunakan motor listrik berselubung sebagai pendorongnya. Roket ini dikendalikan secara autonomous dengan memanfaatkan sensor akselerometer, giroskop, dan magnetometer untuk mengetahui sikap roket terhadap gravitasi bumi dan magnet bumi. Dalam mengendalikan roket diperlukan suatu sistem kendali yang mampu mengendalikan roket dengan data sensor yang telah diolah menjadi nilai sikap yang telah difilter. Dalam penelitian ini dirancang suatu filter yang akan diimplementasikan pada mikrokontroler roket. Filter yang diimplementasikan adalah kalman filter sedangkan kendali yang digunakan adalah kendali proporsional integral derivatif (PID) dengan metode tuning Ziegler-Nichols. Hasil dari penelitian ini berupa suatu implementasi kalman filter ada sistem kendali roket. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sistem kendali dengan menggunakan kalman filter memiliki nilai standar deviasi terhadap nilai regresi linear pada sikap roll sebesar 2,73, pitch sebesar 3,03, dan yaw sebesar 6,96 derajat. Sedangkan nilai standar deviasi terhadap nilai ideal pada sikap roll sebesar 3,43, pitch sebesar 2,92, dan yaw sebesar 5,21 derajat. (Wisnu Pamungkas , Bakhtiar Alldino Ardi Sumbodo , Catur Atmaji, 2017).

2.1.4 Tinjauan Pustaka Literatur 4

Pemaparan pada literatur ini penulis mengangkat judul “Estimasi Sudut Rotasi Benda Kaku berbasis IMU menggunakan Kalman Filter”. Pada dekade

terakhir, IMU (Inertial Measurement Unit) telah menjadi topik menarik dalam penelitian diantaranya adalah estimasi sudut rotasi benda kaku (rigid body). Estimasi sudut rotasi atau sikap (attitude) sering diperlukan dan diaplikasikan pada dinamika pesawat ruang angkasa, dinamika UAV (Unmanned Aerial Vehicle), dinamika robot, wahana bawah air, dan sistem navigasi quadrotor sebelum dilakukan pengontrolan. IMU adalah suatu unit modul elektronik terdiri dari kombinasi sensor accelerometer, gyroscope dan sensor lainnya. Sebuah gyroscope mengukur kecepatan sudut pada poros/sumbu tertentu sedangkan accelerometer mengukur gaya spesifik yang merupakan total percepatan relatif terhadap jatuh bebas. Sebuah gyroscope umumnya memiliki tiga serangkai orthogonal yang mengukur kecepatan sudut pada setiap sumbu x, y, dan z. Kalman filter adalah suatu algoritma yang digunakan untuk mengestimasi state dari sebuah sistem berbasis waktu yang diberikan oleh pengukuran yang telah lalu. Kalman filter menjadi filter optimal yang bekerja meminimalkan mean square estimation error (MSE). Sebagaimana disebutkan dalam, Kalman filter memiliki tingkat komputasi yang kecil, rekursif dan merupakan estimator yang optimal. Kemudian, penelitian pengembangan Kalman filter pada inklinometer berbasis inersia untuk estimasi kemiringan benda dengan sensor accelerometer triaksial dapat ditemukan dalam. Sementara itu, penggunaan Kalman filter dengan sensor IMU juga telah dilakukan pada penelitian untuk estimasi jarak translasi. Berdasarkan percobaan yang sudah dilakukan, model sistem yang dirancang dapat memberikan output state yang diinginkan yaitu sudut rotasi benda. Dari pengujian berbagai gerakan rotasi pada setiap sumbu, didapatkan sudut pergerakan rotasi benda sebelum penapisan sebesar $97,337^\circ$ pada sumbu x (roll), $-86,584^\circ$ pada sumbu y (pitch) dan $-91,595^\circ$ pada sumbu z (yaw). Sedangkan data sudut setelah penapisan sebesar $88,522^\circ$ pada sumbu x (roll), $-87,995^\circ$ pada sumbu y (pitch) dan $-85,387^\circ$ pada sumbu z (yaw). Kemudian, model Kalman filter dapat mereduksi derau dengan optimal dan dapat meningkatkan akurasi estimasi data pengukuran. Berdasarkan percobaan secara off-line, didapatkan akurasi diatas 98%.(Lasmadi, Freddy Kurniawan, Muhammad Irfan Pamungkas, 2021).

2.1.5 Tinjauan Pustaka Literatur 5

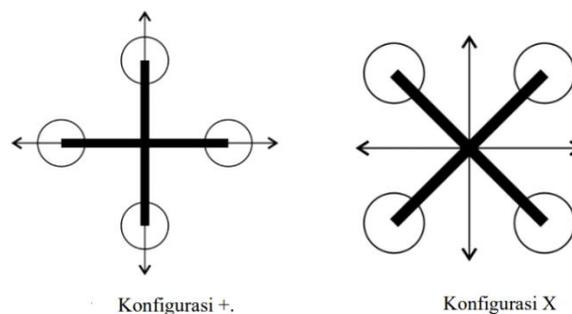
Pemaparan pada literatur ini penulis mengangkat judul “Koreksi Sudut Attitude Quadrotor pada saat Dinamis dengan Mengubah Bobot Data Sensor pada Kalman Filter”. Pada sistem navigasi pesawat terbang, Attitude and Heading Reference System (AHRS) biasanya terintegrasi dengan Electronic Flight Instrument Systems (EFIS) untuk membentuk tampilan parameter navigasi penerbangan utama, yang mana informasi dan visualisasi tersebut sangatlah penting dalam kondisi-kondisi tertentu sebagai alat bantu navigasi penerbangan. Perbedaan utama antara unit pengukuran inersia dan AHRS adalah penambahan sistem pemrosesan on-board dalam AHRS, yang menyediakan informasi sikap dan arah. Ini berbeda dengan IMU, di mana hanya mengirimkan data sensor ke perangkat tambahan yang menghitung attitude (sikap) dan arah. Sistem navigasi tersebut juga sudah mulai banyak diterapkan pada pesawat tanpa awak termasuk quadrotor. Pada quadrotor, sensor IMU (Inertial Measurement Unit) diperlukan sebagai penentu attitude dan heading quadrotor tersebut. Penggunaan sensor akselerometer dan giroskop pada IMU digabungkan untuk menghasilkan data orientasi attitude quadrotor tersebut, sedangkan sensor magnetometer diperlukan quadrotor untuk menentukan heading. Penggunaan data fusion menggunakan Kalman filter untuk menggabungkan data dari giroskop dan akselerometer dalam rangka menentukan sudut attitude pada quadrotor tidak selamanya menghasilkan data yang akurat. Sensor akselerometer tidak dapat menentukan data percepatan secara akurat pada saat kondisi dinamis, sementara itu nilai sudut hasil propagasi dari data giroskop mempunyai akumulasi galat yang semakin tinggi dengan berjalannya waktu. Untuk itu, pada penelitian ini digunakan Kalman filter yang dapat memberikan bobot yang lebih besar pada data giroskop saat quadrotor dalam kondisi dinamis. Metode yang digunakan adalah dengan menaikkan nilai matriks kovarian derau pengukuran pada saat kondisi dinamis. Penentuan kondisi dinamis dilakukan dengan membandingkan nilai varian data percepatan dengan nilai ambang batas. Dari hasil penelitian, metode ini terbukti dapat menurunkan galat sudut roll dari 9,3052 % menjadi 0,0635 % dan sudut pitch dari 0,0021 % menjadi 0,0015 %. (Lasmadi , Muhammad Ali Dakir, Freddy Kurniawan, Sudarmanto, 2022).

2.2 UAV (Unmanned Aerial Vehicle)

UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) secara umum dapat diartikan sebagai sebuah wahana udara. UAV juga sudah semakin berkembang hingga saat ini karena dapat membantu berbagai macam pekerjaan manusia, seperti peliputan keadaan jalan pada saat kemacetan, fotografi, pemantauan suatu tempat yang sulit dijangkau manusia, dan UAV pada TNI AU berperan sebagai *Intelligent Surveillance reconnaissance* (ISR) udara, sehingga memudahkan TNI AU dalam melaksanakan tugas pokok pengamatan udara di daerah perbatasan, dan masih banyak lainnya.

2.3 Quadcopter

Quadcopter adalah salah satu jenis pesawat tanpa awak dengan tipe *multirotor* yang dimana *quadcopter* ini memiliki 4 buah rotor untuk dapat menggerakkan *propeller* (balok-balok). Dua buah rotor berputar searah jarum jam dan dua buah rotor lainnya berputar berlawanan arah jarum jam (Rahani *et al.*, 2021). Pada *quadcopter* ada dua kemungkinan konfigurasi yang dipakai yaitu konfigurasi “+” dan konfigurasi “x” pada gambar 2.1 dibawah ini :



Gambar 2.1 Konfigurasi *quadcopter* dan putaran motor

Sumber : (Rahani *et al.*, 2021)

Pergerakan yang dapat terjadi pada *quadcopter* yaitu *hovering*, *roll rotation*, *pitch rotation*, dan *yaw rotation*. Keempat pergerakan ini dipengaruhi oleh beberapa parameter diantaranya: gaya angkat pada motor beserta arahnya, kecepatan putar motor, dan momen pada sayap *quadcopter* (Kurnia Rahman, Supriyanto dan Meizinta, 2019). Berikut merupakan penjelasan gerakan yang dapat terjadi pada *quadcopter* :

1. Rolling

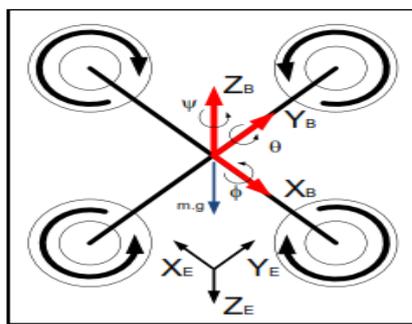
Rolling merupakan pergerakan berguling (roll) dari pesawat, rolling bergerak pada sumbu longitudinal pesawat. Agar mendapat gerakan rolling, pilot menggerakkan bidang kendali aileron yang berada di wing / sayap (Tuuk, Poekoel dan Litouw, 2018).

2. Pitching

Pitching merupakan gerakan mengganguk atau gerakan keatas dan kebawah dari nose pesawat, pitching bergerak pada sumbu lateral pesawat. Untuk dapat melakukan gerakan pitching, pilot menggerakkan bidang kendali utama atau primary control surface, yaitu dengan menggerakkan elevator yang terletak pada horizontal stabilizer (Tuuk, Poekoel dan Litouw, 2018).

2.4 Pemodelan Quadcopter

Pemodelan pergerakan *quadcopter* menggunakan formula *Euler-Lagrange*. Diasumsikan bahwa Bumi/tanah menjadi pusat sistem koordinat Cartesius E sedangkan *quadcopter* menjadi pusat sistem koordinat Cartesius B . Pergerakan *quadcopter* terhadap bumi bekerja pada sumbu-sumbu yang terbentuk pada *quadcopter* yaitu sumbu x , y dan z dari koordinat kartesius serta sudut *roll* (ϕ), *pitch* (θ) dan *yaw* (ψ). Sudut *roll* (ϕ) yaitu sudut yang bekerja pada sumbu x , sudut *pitch* (θ) adalah sudut yang bekerja pada sumbu y , dan sudut *yaw* (ψ) merupakan sudut yang bekerja pada sumbu z dapat dilihat pada gambar 2.2 dibawah.

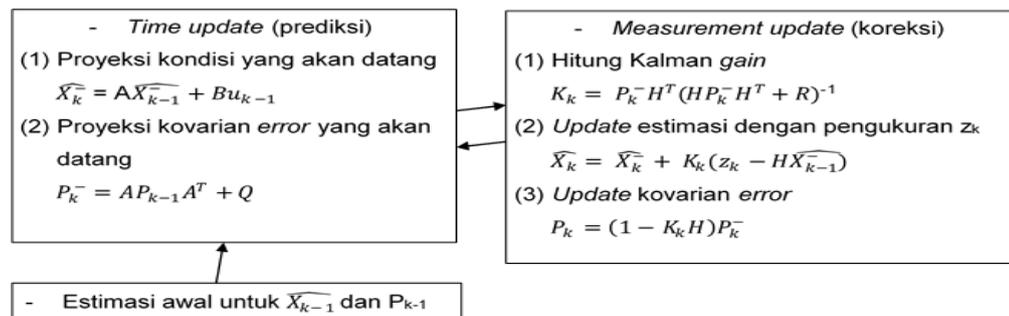


Gambar 2.2 Sistem koordinat cartesius B (frame) terhadap E (bumi/tanah)

2.5 Kalman Filter

Kalman Filter pertama kali dikenalkan oleh Rudolf Emil Kalman pada tahun 1960 melalui makalahnya yang berjudul “*A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*”. Ia mempublikasikan sebuah metode untuk memprediksi

keadaan suatu objek bergerak menggunakan nilai keadaan sebelumnya. Selain itu, *Kalman Filter* juga digunakan untuk mengatasi ketidakstabilan data input akibat gangguan noise atau derau. Secara umum perumusan *Kalman Filter* digambarkan pada Gambar 2.3 di bawah ini :



Gambar 2.3 Proses kalman filter

Kalman Filter adalah suatu persamaan matematis yang menghasilkan suatu perhitungan rata-rata rekursif yang efisien untuk mengestimasi suatu keadaan dari sebuah proses yang bertujuan untuk mengurangi rata-rata error. *Kalman Filter* juga merupakan suatu estimator rekursif, dengan kata lain hanya dibutuhkan keadaan hasil estimasi dari pewaktuan sebelumnya dan hasil pengukuran saat ini untuk dapat menghitung estimasi keadaan saat ini (Setiawan, Triharminto and Fahrurrozi, 2021).

2.6 Arduino Uno

Arduino adalah platform perangkat keras dan perangkat lunak yang dirancang untuk memudahkan pengembangan proyek elektronika yang melibatkan kontrol mikrokontroler. Mikrokontroler adalah komponen elektronika yang berfungsi sebagai otak suatu sistem, mengontrol berbagai fungsi dan interaksi antar komponen elektronika.



Gambar 2.4 Arduino Uno

2.7 Sensor Imu

Sensor IMU (Inertial Measurement Unit) adalah perangkat elektronik yang mengukur percepatan, kecepatan angular, dan arah suatu objek. IMU biasanya terdiri dari kombinasi sensor percepatan (accelerometer) dan sensor kecepatan angular (gyroscope). Beberapa IMU juga dapat mencakup sensor magnetometer untuk mengukur medan magnet dan mendapatkan informasi tentang orientasi dalam ruang tiga dimensi.



Gambar 2.5 Sensor IMU (Inertial Measurement Unit)