

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam rangka mendukung penelitian ini, tinjauan pustaka akan menjadi sumber referensi yang relevan. Rincian mengenai tinjauan pustaka dapat ditemukan pada Tabel 2.1 berikut:

**Tabel 2.1** Tinjauan Pustaka

Nomor	Penulis	Tahun	Judul
Tinjauan Pustaka 1	Achmad Akmal Fikri dan Lilik Anifah	2021	<i>Mapping and Localization System pada Mobile Robot Menggunakan Metode SLAM Berbasis LiDAR</i>
Tinjauan Pustaka 2	Achmad Luthfi Rosyadi, Son Kuswadi, dan Indra Adji Sulistijono	2011	Pemetaan dan Lokalisasi Secara Simultan Robot iSRo menggunakan Multi-sensor
Tinjauan Pustaka 3	Ankit Agarwal, Jacob R. Crouse, dan Eric N. Johnson	2020	<i>Evaluation of a Commercially Available Autonomous Visual Inertial Odometry Solution for Indoor Navigation</i>
Tinjauan Pustaka 4	Tim Appelt, Joschka van der Lucht, Michael Bleier, dan Andreas Nuchter	2021	<i>Calibration and validation of the intel T265 for visual localisation and tracking underwater</i>

**Tabel 2.1** Tinjauan Pustaka (Lanjutan)

Nomor	Penulis	Tahun	Judul
Tinjauan Pustaka 5	Shuhuan Wen, Miao Sheng, Chunli Ma, Zhen Li, H. K. Lam, Yongsheng Zhao, dan Jingrong Ma	2018	<i>Camera Recognition and Laser Detection based on EKF-SLAM in the Autonomous Navigation of Humanoid Robot</i>

### 2.1.1 Tinjauan Pustaka 1

Dalam penelitian ini membahas tentang perancangan sistem pemetaan dan lokalisasi menggunakan metode SLAM pada mobile robot jenis omnidirectional atau holonomic menggunakan sensor LiDAR dengan membuat peta lingkungan menggunakan kombinasi algoritma *Google Cartographer* dan metode *Eulerometry*. Tujuan dari penelitian ini adalah agar robot dapat memetakan keadaan lingkungannya dan bergerak secara otonom berdasarkan data dari sistem pemetaan dan lokalisasi robot. Hasil pengujian menunjukkan hasil yang optimal dan robot mampu mengenali lingkungan sekitarnya walaupun pada peta yang sudah dibangun masih terdapat *noise* (Fikri and Anifah, 2021).

### 2.1.2 Tinjauan Pustaka 2

Dalam penelitian ini membahas tentang pembuatan perangkat lunak SLAM pada robot iSRo dengan perhitungan navigasi menggunakan pendekatan *Dead Reckoning*, tetapi tipe penggerak untuk setiap kubusnya menggunakan *Differential Mobile Drive*. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun program visualisasi untuk menggambarkan pergerakan robot, arah hadap robot, jarak tempuh robot, dan

bentuk rintangan yang terdeteksi oleh robot. Hasil pengujian menunjukkan pemetaan dari perangkat lunak yang dibuat hampir sesuai dengan denah ruang yang sebenarnya dan posisi robot juga dapat ditentukan walaupun gambar jarak antara proses update posisi  $x$  dan  $x-1$  masih terlalu jauh dan selip akibat roda menunjukkan tingkat kesalahan pembacaan serta jangkauan pembacaan sensor kompas belum mendetail (Rosyadi, Kuswadi and Sulistijono, 2011).

### **2.1.3 Tinjauan Pustaka 3**

Dalam penelitian ini membahas tentang metode estimasi dan lokalisasi pose *Unmanned Aerial System* (UAS) menggunakan Intel RealSense T265 yang dikembangkan dan dilengkapi dengan kerangka kerja *Extended Kalman Filter* (EKF). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkarakterisasi kemampuan lokalisasi Intel RealSense T265, serta mengevaluasi kinerja EKF dalam penghalusan *noise* sensor dan pelacakan lintasan dalam penerbangan tertutup. Hasil pengujian menunjukkan kemampuan lokalisasi yang menjanjikan karena perangkat terus mengumpulkan informasi tentang lingkungannya, serta kinerja EKF selama penerbangan tertutup menunjukkan penghalusan pengukuran *noise* dari Intel RealSense T265 dan pelacakan lintasan yang umumnya akurat walaupun keterbatasan pelacakan titik fitur dan pengukuran IMU, akselerasi mendadak serta perubahan arah yang tiba-tiba cenderung melebihi kemampuan pelacakan Intel RealSense T265 (Agarwal, Crouse and Johnson, 2020).

### **2.1.4 Tinjauan Pustaka 4**

Dalam penelitian ini membahas tentang lokalisasi dan navigasi *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV) menggunakan Intel RealSense T265. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan lokalisasi dan pelacakan Intel

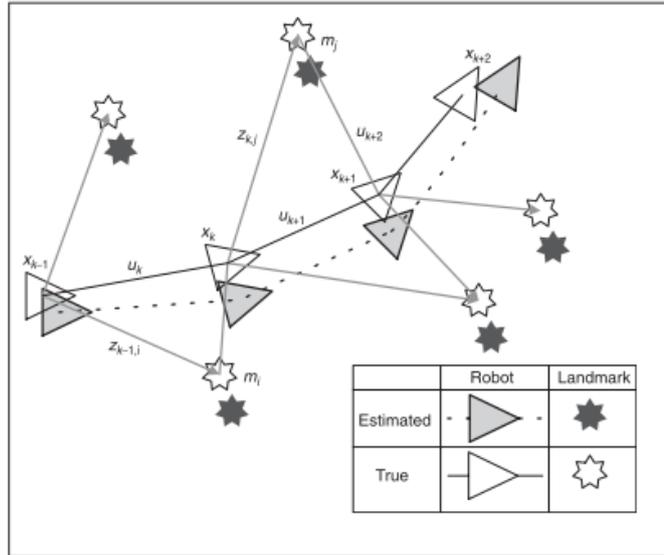
RealSense T265 di lingkungan jarak dekat bawah air. Hasil pengujian menunjukkan mengkalibrasi kamera *stereo* T265 dengan benar memiliki efek menstabilkan lintasan yang dapat dilacak kamera walaupun ada beberapa perbedaan antara bidang aktual dan jalur terhitung lainnya dan faktor pembatas untuk T265 adalah ketidakakuratan IMU yang menyebabkan banyak kesalahan dalam algoritma pelacakan (Appelt *et al.*, 2021).

### **2.1.5 Tinjauan Pustaka 5**

Dalam penelitian ini membahas tentang EKF-SLAM berbasis deteksi kamera dan laser untuk robot humanoid NAO. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk navigasi otonom robot NAO di lingkungan yang tidak diketahui. Hasil pengujian menunjukkan metode yang diusulkan layak dan dapat menyelesaikan proses berjalan otonom robot NAO di lingkungan dalam ruangan walaupun di lingkungan sebenarnya, keterbatasan pada penelitian ini adalah tidak meningkatkan algoritma EKF-SLAM (Wen *et al.*, 2018).

## **2.2 *Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)***

*Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)* adalah sebuah proses yang memungkinkan robot bergerak memetakan lingkungannya dan menggunakan peta tersebut untuk menentukan posisinya pada saat yang bersamaan (Durrant-Whyte and Bailey, 2006). Misalkan, sebuah robot berjalan melalui lingkungannya dan mengamati serangkaian landmark yang tidak diketahui menggunakan sensor yang terpasang pada robot, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Proses SLAM

Sumber : (Durrant-Whyte and Bailey, 2006)

Variabel berikut didefinisikan pada waktu  $k$ :

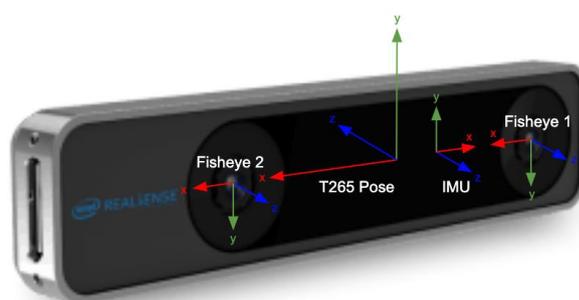
- $\mathbf{x}_k$ : vektor keadaan yang mewakili posisi dan orientasi robot
- $\mathbf{u}_k$ : vektor kendali diterapkan pada waktu  $k - 1$  untuk menggerakkan robot ke keadaan  $\mathbf{x}_k$  pada waktu  $k$
- $\mathbf{m}_i$ : vektor yang mendeskripsikan landmark ke- $i$  yang posisi sebenarnya diasumsikan tidak bergantung pada waktu
- $\mathbf{z}_{ik}$ : Pengamatan yang dilakukan robot pada waktu  $k$  dari landmark ke- $i$ .

Observasi ditulis dengan  $\mathbf{z}_k$  jika terdapat beberapa observasi landmark secara bersamaan atau jika landmark tertentu tidak relevan dengan pembahasan. Selain itu, besaran berikut juga didefinisikan:

- $\mathbf{X}_{0:k} = \{\mathbf{x}_0, \mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_k\} = \{\mathbf{X}_{0:k-1}, \mathbf{x}_k\}$ : riwayat lokasi robot
- $\mathbf{U}_{0:k} = \{\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2, \dots, \mathbf{u}_k\} = \{\mathbf{U}_{0:k-1}, \mathbf{u}_k\}$ : mengontrol riwayat masukan
- $\mathbf{m} = \{\mathbf{m}_1, \mathbf{m}_2, \dots, \mathbf{m}_n\}$  kumpulan semua landmark
- $\mathbf{Z}_{0:k} = \{\mathbf{z}_1, \mathbf{z}_2, \dots, \mathbf{z}_k\} = \{\mathbf{Z}_{0:k-1}, \mathbf{z}_k\}$ : himpunan semua observasi landmark.

### 2.3 Kamera Pelacak Intel RealSense T265

Kamera pelacak Intel RealSense T265 adalah solusi lengkap yang memanfaatkan algoritma canggih untuk menyediakan pelacakan 6DoF berbasis VIO. Desain perangkat keras mencakup serangkaian kamera fisheye stereo *Field of View* (FOV) lebar dengan FOV melingkar sekitar  $165^\circ$  yang ditangkap oleh kamera rana global monokrom berdiameter sekitar 800 piksel. Kamera ini disinkronkan dengan perangkat keras dengan gyro Bosch BMI055 200Hz dan akselerometer 62,5Hz, dan Intel® Movidius™ Myriad™ 2 *Vision Processing Unit* (VPU) yang kuat. Prosesor terpasang menjalankan seluruh algoritma SLAM di dalam kamera, menganalisis gambar stereo dan menggabungkan semua informasi sensor ke dalam pelacakan 6DoF, semuanya dengan daya kurang dari 1,5W. Informasi pose kamera disediakan melalui USB pada 200Hz dan dapat dengan mudah dihubungkan ke sebagian besar platform host menggunakan *open source* Intel RealSense SDK (Grunnet-Jepsen *et al.*, 2020). Pose yang disediakan oleh kamera ini relatif terhadap bagian tengah kedua kamera dapat terlihat dalam Gambar 2.1 berikut:

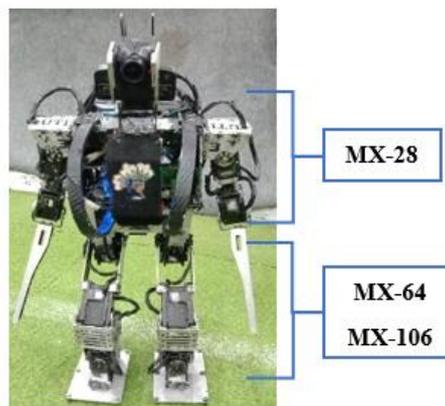


**Gambar 2.2** Sistem Koordinat T265  
Sumber: (Grunnet-Jepsen *et al.*, 2020)

### 2.4 Robot Sepak Bola Humanoid Krakatau FC

Robot sepak bola humanoid Krakatau FC dibangun berdasarkan referensi platform robot DARwIn-OP. Robot tersebut memiliki 20 servo Dynamixel yang

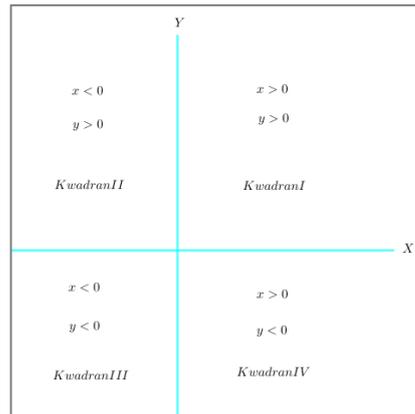
berfungsi sebagai sendi robot, di mana 6 servo MX-64 dan 6 servo MX-106 menggerakkan tubuh bagian bawah, dan 8 servo MX-28 menggerakkan tubuh bagian atas. Dua servo teratas digunakan untuk memposisikan kamera dengan kemampuan gerakan kiri/kanan (*Pan*) dan atas/bawah (*Tilt*) (Pajar *et al.*, 2017). Robot ini menggunakan kamera PS Eye dan Mini PC dengan prosesor Intel® Core™ i3-10110U, serta KSC sebagai pengendali servo. Robot sepak bola humanoid Krakatau FC dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut:



**Gambar 2.3** Robot Sepak Bola Humanoid Krakatau FC

## 2.5 Sistem Koordinat Kartesian

Sistem koordinat Kartesian digunakan untuk mengidentifikasi posisi setiap titik di bidang dengan menggunakan dua nilai yang dikenal sebagai koordinat x (absis) dan koordinat y (ordinat) dari titik tersebut. Penggunaan sistem koordinat Kartesian juga dapat diterapkan pada dimensi yang lebih tinggi, seperti tiga dimensi, dengan menggunakan tiga sumbu (sumbu x, y, dan z) (Hanafi, Wulandari and Wulansari, 2017).



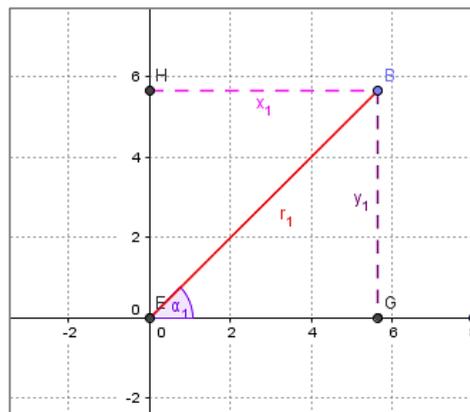
**Gambar 2.4** Koordinat Kartesian  
Sumber: (Hanafi, Wulandari and Wulansari, 2017)

Dari Gambar 2.4 di atas, dapat dikenali empat bidang simetris yang dibatasi oleh sumbu koordinat x dan y, di mana masing-masing bidang tersebut disebut sebagai Kwadran. Oleh karena itu, terdapat empat Kwadran, yaitu:

- Kwadran I ( $x > 0, y > 0$ ),
- Kwadran II ( $x < 0, y > 0$ ),
- Kwadran III ( $x < 0, y < 0$ ), dan
- Kwadran IV ( $x > 0, y < 0$ ).

Perhatikan Gambar 2.5 berikut:

Anggaplah titik B ( $x_1, y_1$ ) dan berada pada Kwadran I. Jika demikian, ini mengindikasikan bahwa ( $x_1 > 0, y_1 > 0$ )



**Gambar 2.5** Koordinat Kartesian Kwadran I

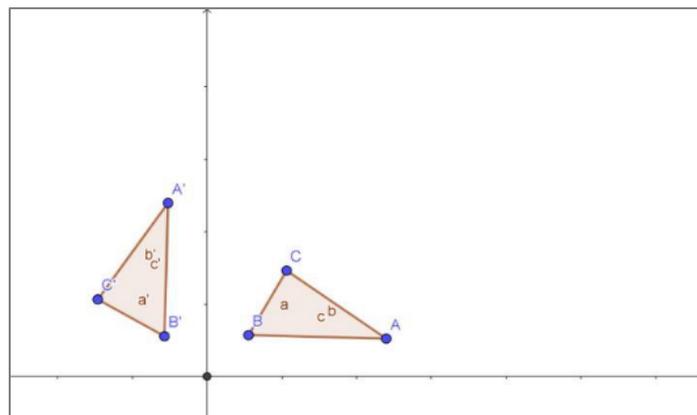
Sumber: (Hanafi, Wulandari and Wulansari, 2017)

## 2.6 Transformasi Geometri

Transformasi geometri merujuk pada pergeseran objek geometri dari koordinat awalnya  $(x, y)$  ke koordinat lainnya  $(x', y')$  (AGUSNA, 2023).

### 2.6.1 Rotasi

Rotasi merujuk pada pergeseran posisi melalui pemutaran objek melalui suatu titik pusat dan sudut tertentu. Pada bidang datar, rotasi ditentukan oleh titik pusat rotasi, besarnya sudut rotasi, dan arah rotasi. Hasil rotasi suatu objek bervariasi tergantung pada pusat rotasi dan besar sudut rotasi yang digunakan. Gambar di bidang kartesian di bawah menunjukkan pergeseran posisi segitiga sembarang akibat rotasi sejauh  $90^\circ$ .



**Gambar 2.6** Rotasi  $90^\circ$  Segitiga Sembarang

Sumber: (AGUSNA, 2023)

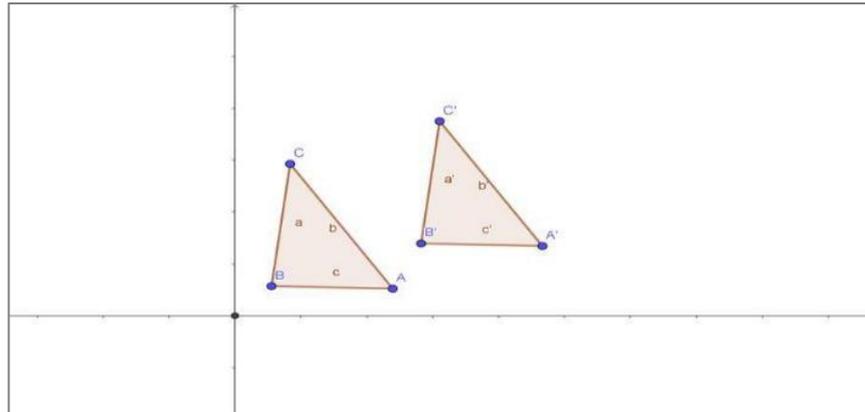
Rumus di bawah ini menggambarkan bentuk umum dari rotasi.

$$P(x, y) \xrightarrow{O, \alpha} P'(x', y')$$

### 2.6.2 Translasi

Translasi, atau perpindahan, merupakan tipe transformasi yang menggeser suatu titik sepanjang lintasan lurus dengan arah dan jarak tertentu. Pergeseran titik

tersebut dapat dilakukan ke atas, ke bawah, ke kanan, ke kiri, atau kombinasi dari keempat arah tersebut. Penting dicatat bahwa setelah mengalami translasi, bentuk dan ukuran suatu bangun atau objek tidak mengalami perubahan. Pada sistem koordinat Kartesian yang terlihat di bawah ini, tergambar pergeseran segitiga sembarang yang disebabkan oleh translasi.



**Gambar 2.7** Translasi Segitiga Sembarang

Sumber: (AGUSNA, 2023)

Rumus di bawah ini menggambarkan bentuk umum dari translasi.

$$T \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \\ A(x, y) \longrightarrow A'(x', y')$$

Atau

$$T \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \\ A(x, y) \longrightarrow A'(x + a, y + b)$$