

## ABSTRAK

Kontes Robot Pemadam Api Indonesia (KRPAI) beroda merupakan salah satu cabang Kontes Robot Indonesia (KRI) yang diselenggarakan oleh Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi (RISTEK DIKTI). Misi dari robot tersebut adalah robot harus memadamkan api yang ada di arena pertandingan. Pada penelitian ini dibuat sebuah *mobile robot* menggunakan sistem *differential-drive* yang digunakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan terkait pemadaman api secara otomatis. *Mobile robot* bekerja dengan cara bergerak menggunakan strategi gerak *wall following* pada area yang telah ditentukan dengan menjaga jarak 20 cm dari dinding. Setelah itu, *mobile robot* akan berjalan menyusuri arena hingga menemukan titik api pada lilin. Hasil dari penelitian ini *mobile robot* dapat melakukan *wall following* hingga menemukan titik api dan memadamkan api dengan akurasi sebesar 86.8%. Selain itu, untuk pembuatan SLAM 2 dimensi dengan melakukan 2 skenario pengujian menghasilkan diketahui koordinat X dan Y saat di titik awal dan akhir pembuatan SLAM 2 dimensi dalam hal ini bentuk lintasan (*trajectory*). Skenario pertama yaitu kamera pada robot didapatkan akurasi pembuatan *trajectory* untuk koordinat X dan Y sebesar 71% sedangkan skenario kedua yaitu pada kamera atas didapatkan akurasi pembuatan *trajectory* untuk koordinat X dan Y sebesar 80%.

**Kata kunci:** KRPAI, *Simultaneous Localization and Mapping*, robot pemadam api, VSLAM

## DAFTAR ISI

|                                                           |      |
|-----------------------------------------------------------|------|
| ABSTRAK .....                                             | i    |
| DAFTAR ISI.....                                           | viii |
| DAFTAR GAMBAR .....                                       | x    |
| DAFTAR TABEL .....                                        | xii  |
| DAFTAR ISTILAH .....                                      | xv   |
| BAB I PENDAHULUAN .....                                   | 2    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                  | 2    |
| 1.2 Rumusan Masalah.....                                  | 3    |
| 1.3 Tujuan dan Manfaat .....                              | 3    |
| 1.4 Batasan Masalah .....                                 | 4    |
| 1.5 Metodologi Penulisan Skripsi.....                     | 4    |
| 1.6 Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....                    | 5    |
| BAB II TEORI PENUNJANG .....                              | 6    |
| 2.1. Penelitian Pendukung.....                            | 6    |
| 2.2. Dasar Teori.....                                     | 8    |
| 2.2.1. <i>Locomotion</i> .....                            | 8    |
| 2.2.2. Robot Beroda.....                                  | 9    |
| 2.2.3. Desain Roda.....                                   | 10   |
| 2.2.4. Model Kinematika Robot Beroda .....                | 11   |
| 2.2.5. <i>Simultaneous Localization and Mapping</i> ..... | 13   |
| 2.2.6. <i>Monocular SLAM</i> .....                        | 14   |
| 2.2.7. Pengolahan Citra Digital .....                     | 15   |
| 2.2.8. Deteksi Jarak .....                                | 15   |
| 2.2.9. Algoritma <i>Oriented Rotated Brief</i> (ORB)..... | 16   |
| 2.2.10. Arduino Mega 2560.....                            | 17   |
| 2.2.11. Sensor UV-TRON .....                              | 18   |
| 2.2.12. Sensor Jarak GP2Y0A21 .....                       | 18   |
| 2.2.13. Motor DC .....                                    | 19   |
| 2.2.14. Baterai Lipo .....                                | 19   |
| 2.2.15. Kamera Webcam .....                               | 20   |

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.16. Modul <i>Fan</i> L9110 .....                                        | 20        |
| 2.2.17. Driver Motor L298N .....                                            | 21        |
| 2.2.18. LM2596 .....                                                        | 23        |
| 2.2.19. Sensor Pixy.....                                                    | 23        |
| BAB III PERANCANGAN SISTEM .....                                            | 23        |
| 3.1. Gambaran Umum.....                                                     | 23        |
| 3.2. Desain Elektronika .....                                               | 24        |
| 3.3. Diagram Blok.....                                                      | 26        |
| 3.4. <i>Flowchart</i> Sistem.....                                           | 27        |
| 3.4.1. <i>Flowchart</i> Proses <i>Wall Following</i> .....                  | 28        |
| 3.4.2. <i>Flowchart</i> Proses <i>Visual SLAM</i> .....                     | 29        |
| 3.4.3. <i>Flowchart</i> Proses <i>Oriented Rotated Brief</i> .....          | 30        |
| 3.5. Deteksi Ciri <i>Oriented FAST</i> dan <i>Rotated BRIEF (ORB)</i> ..... | 30        |
| BAB IV HASIL PENELITIAN & ANALISIS .....                                    | 40        |
| 4.1. Spesifikasi <i>Mobile Robot</i> Pemadam Api.....                       | 40        |
| 4.2. Kalibrasi Sensor Api.....                                              | 43        |
| 4.3. Kalibrasi Sensor Pixy.....                                             | 44        |
| 4.4. Kalibrasi Sensor Ultrasonik .....                                      | 48        |
| 4.5. Kalibrasi Sensor Infrared GP2Y021 .....                                | 50        |
| 4.6. Pengujian Pemadaman Api.....                                           | 52        |
| 4.7. Kalibrasi Sensor Kamera Logitech C270 .....                            | 54        |
| 4.8. <i>Testing</i> Deteksi <i>Oriented Rotated Brief (ORB)</i> .....       | 56        |
| 4.9. Percobaan Gerak Robot Dengan <i>Wall Following</i> .....               | 58        |
| 4.10. Pengujian Robot Untuk Melakukan Pemadaman Api .....                   | 62        |
| 4.11. Percobaan Pembuatan SLAM Kamera Robot.....                            | 67        |
| 4.12. Percobaan Pembuatan SLAM Kamera Atas .....                            | 76        |
| 4.13. Analisa.....                                                          | 84        |
| BAB V HASIL PENELITIAN & ANALISIS .....                                     | 86        |
| 5.1. Kesimpulan.....                                                        | 86        |
| 5.2. Saran.....                                                             | 86        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>                                                  | <b>87</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1. Lokomotor kendaraan beroda untuk medan berat.....                | 9  |
| Gambar2.2. <i>Mobile Robot</i> .....                                         | 10 |
| Gambar 2.3. Empat jenis roda dasar.....                                      | 11 |
| Gambar 2.4. Referensi <i>frame</i> global dan lokal .....                    | 12 |
| Gambar 2.5. <i>Mobile robot</i> sejajar dengan sumbu global.....             | 13 |
| Gambar 2.6. Visualisasi <i>World Reference Frame</i> .....                   | 15 |
| Gambar 2.7. Arduino Mega 2560.....                                           | 18 |
| Gambar 2.8. UV-Tron.....                                                     | 18 |
| Gambar 2.9. Sensor Jarak GP2Y021 .....                                       | 19 |
| Gambar 2.10. Motor DC.....                                                   | 19 |
| Gambar 2.11. Baterai Li-Po.....                                              | 20 |
| Gambar 2.12. Kamera Logitech .....                                           | 20 |
| Gambar 2.13. Modul <i>Fan</i> L9110.....                                     | 21 |
| Gambar 2.14. <i>Driver</i> Motor L298N.....                                  | 21 |
| Gambar 2.15. Sensor Ultrasonik.....                                          | 22 |
| Gambar 2.16. Modul LM2596.....                                               | 22 |
| Gambar 2.17. Kamera Pixy.....                                                | 22 |
| Gambar 3.1. Desain Robot.....                                                | 23 |
| Gambar 3.2. Dimensi Robot .....                                              | 24 |
| Gambar 3.3. Rangkaian penurun tegangan.....                                  | 24 |
| Gambar 3.4. Rangkaian Elektronika.....                                       | 25 |
| Gambar 3.5. Rangkaian Sensor Api.....                                        | 25 |
| Gambar 3.6. Sensor Kamera .....                                              | 26 |
| Gambar 3.7. Diagram Blok.....                                                | 26 |
| Gambar 3.8. <i>Flowchart</i> Sistem Robot Pemadam Api.....                   | 27 |
| Gambar 3.9. Sub-proses <i>Wall Following</i> .....                           | 28 |
| Gambar 3.10. Sub-proses SLAM.....                                            | 29 |
| Gambar 3.11. <i>Flowchart</i> Sub-Proses <i>Oriented Rotated Brief</i> ..... | 30 |
| Gambar 3.12. Deteksi FAST .....                                              | 31 |

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 3.13. Pembagian 16 pixel .....                                                                                                            | 32 |
| Gambar 3.14. Desain lintasan .....                                                                                                               | 38 |
| Gambar 3.15. Robot lurus ke depan.....                                                                                                           | 38 |
| Gambar 3.16. Robot belok kanan dan kiri.....                                                                                                     | 39 |
| Gambar 3.17. Robot memadamkan api .....                                                                                                          | 39 |
| Gambar 4.1. Robot pemadam api tampak depan .....                                                                                                 | 41 |
| Gambar 4.2. Robot pemadam api tampak belakang .....                                                                                              | 42 |
| Gambar 4.3. Robot pemadam api tampak keseluruhan.....                                                                                            | 42 |
| Gambar 4.4. (a) Pembacaan deteksi api jarak 10 cm oleh robot, (b) Grafik perbandingan 3 interval waktu deteksi api jarak 10 cm.....              | 43 |
| Gambar 4.5. (a) Pembacaan deteksi api jarak 15 cm oleh robot, (b) Grafik perbandingan 3 interval waktu deteksi api jarak 15 cm.....              | 44 |
| Gambar 4.6. (a) Pembacaan deteksi api jarak 20 cm oleh robot, (b) Grafik perbandingan 3 interval waktu deteksi api dan jarak 20 cm.....          | 44 |
| Gambar 4.7. Pembacaan sensor pixy jarak 10 cm oleh robot .....                                                                                   | 45 |
| Gambar 4.8. Grafik kalibrasi pertama sensor pixy .....                                                                                           | 45 |
| Gambar 4.9. Pembacaan sensor pixy jarak 15 cm oleh robot .....                                                                                   | 46 |
| Gambar 4.10. Grafik kalibrasi kedua sensor pixy .....                                                                                            | 46 |
| Gambar 4.11. Pembacaan sensor pixy jarak 20 cm oleh robot .....                                                                                  | 47 |
| Gambar 4.12. Grafik kalibrasi ketiga sensor pixy .....                                                                                           | 47 |
| Gambar 4.13. (a) Pembacaan deteksi jarak dinding depan 10 cm oleh robot, (b) Grafik perbandingan 2 interval waktu deteksi api jarak 10 cm.....   | 48 |
| Gambar 4.14. (a) Pembacaan deteksi jarak dinding depan 20 cm oleh robot, (b) Grafik perbandingan 2 interval waktu deteksi api jarak 20 cm.....   | 49 |
| Gambar 4.15. (a) Pembacaan deteksi jarak dinding samping kanan oleh robot, (b) Grafik perbandingan 2 interval waktu deteksi api jarak 17 cm..... | 50 |
| Gambar 4.16. (a) Pembacaan deteksi jarak dinding samping kiri oleh robot, (b) Grafik perbandingan 2 interval waktu deteksi api jarak 17 cm.....  | 51 |
| Gambar 4.17. (a) Pengujian pemadaman api jarak 15 cm (b) Perbandingan pemadaman dengan 2 interval waktu yang berbeda .....                       | 52 |

|                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.18. (a) Pengujian pemadaman api jarak 20 cm (b) Perbandingan pemadaman dengan 2 interval waktu yang berbeda ..... | 53 |
| Gambar 4.19. Kalibrasi <i>checkerboard</i> .....                                                                           | 54 |
| Gambar 4.20. Kalibrasi sensor kamera .....                                                                                 | 54 |
| Gambar 4.21. Grafik perbandingan nilai <i>error</i> tiap piksel .....                                                      | 55 |
| Gambar 4.22. Robot pada titik <i>start</i> .....                                                                           | 56 |
| Gambar 4.23. Deteksi ORB .....                                                                                             | 56 |
| Gambar 4.24. Grafik perbandingan nilai .....                                                                               | 57 |
| Gambar 4.25. Arena gerak robot .....                                                                                       | 58 |
| Gambar 4.26. Ilustrasi gerak robot .....                                                                                   | 59 |
| Gambar 4.27. Pengujian kedua .....                                                                                         | 60 |
| Gambar 4.28. Lokasi titik menyala .....                                                                                    | 63 |
| Gambar 4.29. Ilustrasi pemadaman api .....                                                                                 | 63 |
| Gambar 4.30. Pemadaman pengujian kedua .....                                                                               | 65 |
| Gambar 4.31. Skenario 1 & 2 .....                                                                                          | 68 |
| Gambar 4.32. (a) Hasil skenario 1 pengujian pertama (b) Grafik pengujian skenario 1 pertama .....                          | 68 |
| Gambar 4.33 (a) Hasil skenario 2 pengujian pertama (b) Grafik pengujian skenario 2 pertama .....                           | 69 |
| Gambar 4.34. (a) Hasil skenario 1 pengujian kedua (b) Grafik pengujian skenario 1 kedua .....                              | 69 |
| Gambar 4.35. (a) Hasil skenario 2 pengujian kedua (b) Grafik pengujian skenario 2 kedua .....                              | 70 |
| Gambar 4.36. (a) Hasil skenario 1 pengujian ketiga (b) Grafik pengujian skenario 1 ketiga .....                            | 70 |
| Gambar 4.37. (a) Hasil skenario 2 pengujian ketiga (b) Grafik pengujian skenario 2 ketiga .....                            | 71 |
| Gambar 4.38. (a) Hasil skenario 1 pengujian keempat (b) Grafik pengujian skenario 1 keempat .....                          | 71 |
| Gambar 4.39. (a) Hasil skenario 2 pengujian keempat (b) Grafik pengujian skenario 2 keempat .....                          | 72 |

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.40 (a) Hasil skenario 1 pengujian kelima (b) Grafik pengujian skenario 1 kelima ..... | 72 |
| Gambar 4.41. Hasil skenario 2 pengujian kelima (b) Grafik pengujian skenario 2 kelima .....    | 73 |
| Gambar 4.42. (a) Grafik perbandingan keseluruhan (b) Grafik perbandingan pertama .....         | 74 |
| Gambar 4.43. (a) Grafik perbandingan keseluruhan (b) Grafik perbandingan kedua .....           | 74 |
| Gambar 4.44. (a) Grafik perbandingan keseluruhan (b) Grafik perbandingan ketiga .....          | 75 |
| Gambar 4.45. (a) Grafik perbandingan keseluruhan (b) Grafik perbandingan keempat .....         | 75 |
| Gambar 4.46. (a) Grafik perbandingan keseluruhan (b) Grafik perbandingan kelima .....          | 76 |
| Gambar 4.47. Skenario Kamera Atas.....                                                         | 77 |
| Gambar 4.48. (a) Tampak atas (b) Grafik pengujian pertama .....                                | 77 |
| Gambar 4.49. (a) Tampak atas (b) Grafik pengujian kedua .....                                  | 77 |
| Gambar 4.50. (a) Tampak atas (b) Grafik pengujian ketiga .....                                 | 78 |
| Gambar 4.51. (a) Tampak atas (b) Grafik pengujian keempat .....                                | 78 |
| Gambar 4.52. (a) Tampak atas (b) Grafik pengujian kelima .....                                 | 79 |
| Gambar 4.53. Perbandingan pertama pengujian kamera atas .....                                  | 80 |
| Gambar 4.54. Perbandingan kedua pengujian kamera atas .....                                    | 80 |
| Gambar 4.55. Perbandingan ketiga pengujian kamera atas .....                                   | 81 |
| Gambar 4.56. Perbandingan keempat pengujian kamera atas .....                                  | 81 |
| Gambar 4.57. Perbandingan kelima pengujian kamera atas .....                                   | 82 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1.1. Jadwal Kegiatan.....                                             | 5  |
| Tabel 3.2. Permisalan unsur <i>intrinsic</i> kamera.....                    | 37 |
| Tabel 4.1 Spesifikasi komputer .....                                        | 40 |
| Tabel 4.2. Spesifikasi robot .....                                          | 41 |
| Tabel 4.3. Pengukuran jarak menggunakan sensor <i>ultrasonic</i> SR-04..... | 46 |
| Tabel 4.4. Pengukuran jarak menggunakan sensor <i>infrared</i> .....        | 48 |
| Tabel 4.5. Pengujian pemadaman api.....                                     | 50 |
| Tabel 4.6. Nilai kesalahan proyeksi.....                                    | 52 |
| Tabel 4.7. Nilai deteksi .....                                              | 54 |
| Tabel 4.8. <i>Wall following</i> pengujian pertama.....                     | 56 |
| Tabel 4.9. <i>Wall following</i> pengujian kedua .....                      | 58 |
| Tabel 4.10. Pemadaman titik api pengujian pertama .....                     | 61 |
| Tabel 4.11. Pemadaman titik api pengujian kedua.....                        | 62 |
| Tabel 4.12. Selisih data kamera kamera robot .....                          | 73 |
| Tabel 4.13. Koordinat X Y kamera atas.....                                  | 79 |
| Tabel 4.14. Tabel data rata rata <i>error trajectory</i> .....              | 82 |

## DAFTAR ISTILAH

SLAM : *Simultaneous Localization and Mapping*

SFM : *Structure From Motion*

FAST : *Featured Accelerated Segment Test*

BRIEF : *Binary Robust Independent*

ORB : *Oriented Rotated Brief*

RPM : *Revolutions Per Minute*

DC : *Direct Current*

VCC : *Voltage at Common Collector*

GND : *Ground*

RGB : *Red Green Blue*

PWM : *Pulse Width Modulation*

Ms : *Millisecond*

