

Rancang Bangun Kendali Cerdas dan Otonom pada Robot Mobil Beroda

Yohanes Bowo Widodo^{1*)}, Taslim Idris Rahman²⁾, Sondang Sibuea³⁾,
Mohammad Ikhsan Saputro³⁾

¹⁾²⁾³⁾⁴⁾Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Komputer, Universitas Mohammad Husni Thamrin

^{*}Correspondence Author: ybowowidodo@gmail.com, Jakarta, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.37012/jtik.v9i2.1793>

Abstrak

Sistem robot memberikan banyak keuntungan untuk menyelesaikan berbagai tugas yang membutuhkan kekuatan, kecepatan, ketepatan, pengulangan, dan kemampuan untuk bertahan di lingkungan yang ekstrem. *Mobile robot* merupakan sebuah robot yang dapat bergerak dengan leluasa karena memiliki alat gerak untuk berpindah posisi. Robot *autonomous* (otonom) merupakan robot dengan sistem kompleks yang membutuhkan interaksi dengan perangkat lunak. Robot *autonomous* dirancang untuk melakukan tugas tingkat tinggi dengan kontrol eksternal yang sangat terbatas. Penelitian yang dilakukan adalah merancang sistem kendali *autonomous* pada Robot Mobil Beroda (*Wheeled Mobile Robot*) berbasis lokasi. Penelitian yang akan dilakukan adalah menetapkan dasar-dasar metode yang secara spesifik untuk melakukan pemantauan dengan kontrol sederhana pada Robot Mobil Beroda yang berorientasi pada pergerakan berdasarkan *waypoint* yang telah ditentukan. Kerangka kerja kontrol Robot Mobil Beroda terhadap lokasi tujuan dengan acuan posisi robot terhadap posisi tujuan dengan nilai *bearing* sebagai acuan *heading* robot terhadap titik tujuan. Robot mobil dimodelkan memiliki tiga roda dengan mempertimbangkan aktuasi kecepatan sudut untuk mempertahankan posisi pada *trajectory*. Hasil dalam pengujian *mobile robot* secara *autopilot*, robot dapat bergerak secara *autonomous* dimana titik-titik lokasi tujuan dibuat pada *Ground Control Station* (GCS) dengan mentransmisikan data-data lokasi *waypoint* ke robot mobil maka robot akan bergerak menuju titik-titik lokasi yang telah ditentukan. Sinyal GPS sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Ccuaca mendung akan menghalangi sinyal satelit untuk mencapai sensor GPS.

Kata Kunci: Kendali cerdas, otonom, Robot mobil beroda, *Trajectory*

Abstract

Robotic systems provide many advantages for completing a variety of tasks that require strength, speed, precision, repeatability, and the ability to survive in extreme environments. A mobile robot is a robot that can move freely because it has a movement tool to change positions. Autonomous robots are robots with complex systems that require interaction with software. Autonomous robots are designed to perform high-level tasks with very limited external control. The research was to design an autonomous control system for a location-based Wheeled Mobile Robot. The research that will be carried out is to determine the basics of a specific method for monitoring with simple control on a Wheeled Mobile Robot which is oriented towards movement based on predetermined waypoints. Wheeled Mobile Robot control framework towards the destination location with reference to the robot's position towards the destination position with bearing values as a reference for the robot's heading towards the destination point. The mobile robot is modeled as having three wheels by considering angular velocity actuation to maintain position on the trajectory. Results: In testing the mobile robot on autopilot, the robot can move autonomously where destination location points are created on the Ground Control Station (GCS) by transmitting waypoint location data to the mobile robot so the robot will move towards predetermined location points. GPS signals are greatly influenced by weather conditions. Cloudy weather will prevent satellite signals from reaching the GPS sensor.

Keywords: Intelligent control, autonomous, Wheeled Mobile robot, *Trajectory*

PENDAHULUAN

Sistem robot memberikan banyak keuntungan untuk menyelesaikan berbagai tugas yang membutuhkan kekuatan, kecepatan, ketepatan, pengulangan, dan kemampuan untuk bertahan di lingkungan yang ekstrem. Sebagian besar robot melakukan tugas-tugas secara terpisah. Dengan semakin berkembangnya penggunaan sistem robot, ada peningkatan kinerja dalam penerapan teknologi robot saat ini dan menghasilkan sebuah kemampuan baru. Robot mobil beroda (*Wheeled Mobile robot*) merupakan sebuah robot yang dapat bergerak dengan leluasa karena memiliki alat gerak untuk berpindah posisi. Secara umum dan mendasar, sebuah *mobile robot* dibedakan oleh *locomotion system* atau sistem penggerak. *Locomotion* merupakan gerakan melintasi permukaan datar. Semua ini disesuaikan dengan medan yang akan dilalui dan juga oleh tugas yang diberikan kepada robot. Robot yang seringkali dijumpai adalah robot yang bergerak dengan menggunakan roda. Roda merupakan teknik tertua, paling mudah, dan paling efisien untuk menggerakkan robot melintasi permukaan datar. Roda seringkali dipilih, karena memberikan *traction* yang bagus, mudah diperoleh dan dipakai, dan juga mudah untuk memasangnya pada robot. *Traction* merupakan variabel dari material roda dan permukaan yang dilintasi oleh roda. Material roda yang lebih lembut memiliki koefisien *traction* yang besar, dan koefisien *traction* yang besar ini memberi gesekan (*friction*) yang besar pula, dan memperbesar daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan motor.

Robot otonom (*autonomous*) merupakan robot dengan sistem kompleks yang membutuhkan interaksi dengan perangkat lunak. Robot otonom dirancang untuk melakukan tugas tingkat tinggi dengan kontrol eksternal yang sangat terbatas. Robot otonom beroperasi di lingkungan yang sangat bervariasi, tidak pasti, dan berubah waktu, harus memenuhi interval waktu secara *real-time* untuk bekerja dengan baik dan terkadang harus berinteraksi dengan *robot agent* lain, manusia dan perangkat lainnya.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka ide dalam penelitian yang akan diajukan adalah merancang sistem kendali otonom pada Robot Mobil Beroda berbasis lokasi. Penelitian yang akan dilakukan adalah menetapkan dasar-dasar metode yang secara spesifik untuk melakukan pemantauan dengan kontrol sederhana pada Robot Mobil Beroda yang berorientasi pada pergerakan berdasarkan *waypoint* yang telah ditentukan. Permodelan

mobile robot dimodelkan memiliki tiga roda dengan mempertimbangkan aktuasi kecepatan sudut untuk mempertahankan posisi pada *trajectory*.

Penelitian terkait merupakan referensi dalam merancang penelitian ini. Penelitian terkait dapat dijelaskan sebagai berikut:

Penelitian Putro et al (2016) yang berjudul “Rancang Bangun Purwarupa Sistem Navigasi Tanpa Awak Untuk Kapal”, penelitian ini menjelaskan pengendalian dan navigasi sistem menggunakan *arduino mega 2560*. Komponen yang terhubung di sistem diantaranya adalah penerima GPS *U-blox 6* sebagai penerima koordinat GPS, modul kompas CMPS10, driver motor EMS, dan Hobbyking 6 *channel transmitter* yang mana pengoperasian dilakukan secara manual menggunakan *remot control* (Putro et al., 2016).

Penelitian Wahyudi, Kirbani Sri Brotopuspito and Imam Suyanto (2020) yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Infra Merah Menggunakan Pesawat Udara Tanpa Awak (UAV) untuk Memantau Aktivitas Gunung Api”, menjelaskan sebuah rancang bangun pesawat udara tanpa awak, *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) sebagai instrumen sistem akuisisi data termal pemantauan aktivitas gunung api. Sensor infra merah digunakan sebagai muatan agar mampu mengukur suhu kawah dan permukaan gunung api tanpa ada kontak langsung. Sistem yang dibangun terdiri dari 3 perangkat utama, yakni sensor infra merah tipe *Flir One Pro* yang berfungsi sebagai kamera termal dan kamera visual, handphone yang dilengkapi dengan software Redmi Note 5 yang berfungsi sebagai alat perekam data dan IMU (*Inertial Measurement Unit*), serta UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) yang berfungsi sebagai pesawat udara tanpa awak yang mengangkut sensor beserta alat perekam datanya. Hasil uji coba menunjukkan terdapat kendala yang harus diperbaiki yang berkaitan dengan waktu melakukan pemetaan terutama malam hari. Direkomendasikan agar pemetaan termal dilakukan pada malam hari sehingga objek yang dipetakan mempunyai *background* termal yang relatif tetap, dan peta termal yang dihasilkan menjadi lebih konsisten, pengoperasian dilakukan secara manual menggunakan drone dan remot kontrol (Wahyudi et al., 2020)

Penelitian ini bertujuan memperoleh sebuah Robot Mobil beroda yang mampu berjalan secara cerdas dan *autonomous* dengan kemampuan mempertahankan posisi sesuai dengan *trajectory* melalui sebuah kontroler yang ketat berbasis *Proportional-Integral-Derivative* (PID).

METODE

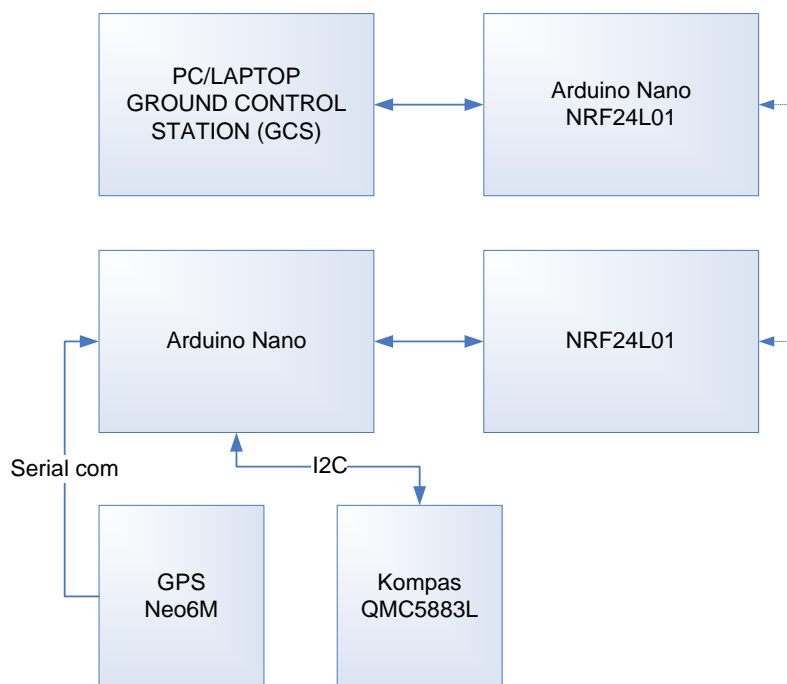
Penelitian Rancang Bangun Kendali Cerdas dan otonom pada Robot Mobil Beroda yang dilakukan merupakan kegiatan menerjemahkan hasil analisa dan perancangan ke dalam bentuk perangkat lunak dan perangkat keras yang bertujuan untuk menghasilkan sebuah hasil penelitian baru maupun pengembangan dari penelitian yang sudah ada. Penelitian yang akan dilakukan mengembangkan dari sisi *Autonomous* yang akan dibuat dalam logika pemrograman dan diterapkan pada mikrokontroler Arduino Nano. Fokus penelitian yang akan dilakukan adalah mengembangkan sebuah sistem kendali cerdas dan otomatis (*Autopilot*) dengan referensi data lokasi dan haluan yang diperoleh dari perangkat GPS dan sensor kompas.

Sistem kerja autopilot dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Menentukan titik-titik lokasi yang akan dilalui. Dalam pemrograman Arduino akan disusun sebagai sebuah array lokasi.
2. Wahana akan mengakses data lokasi melalui sensor GPS, mengakses besar sudut haluan terhadap bumi menggunakan sensor kompas.
3. Menghitung jarak antar lokasi wahana dengan lokasi ke-n.
4. Menghitung selisih sudut haluan antara wahana dengan sudut target ke lokasi ke-n.

Perancangan sistem elektronik pada model robot mobil mempertimbangkan kebutuhan-kebutuhan yang diperlukan pada model. Kebutuhan-kebutuhan ini secara umum harus mampu dipenuhi perangkat elektronik, sehingga tipe dan kemampuan perangkat elektronik harus sesuai dan tepat guna. Batas kemampuan perangkat minimal harus sesuai dengan kebutuhan dan diupayakan kemampuan perangkat diatas tingkat kebutuhan. Hal ini diperlukan agar perangkat tidak bekerja secara terus menerus pada batas kemampuan maksimal yang beresiko terjadi *system fault* atau kegagalan sistem. Dengan demikian kemampuan perangkat diatas kebutuhan merupakan salah satu cara yang dipilih untuk menyelesaikan solusi ketahanan dan kegagalan.

Secara umum sistem kerja dan proses pada model Robot Mobil Beroda dapat dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Umum Model Robot Mobil Beroda

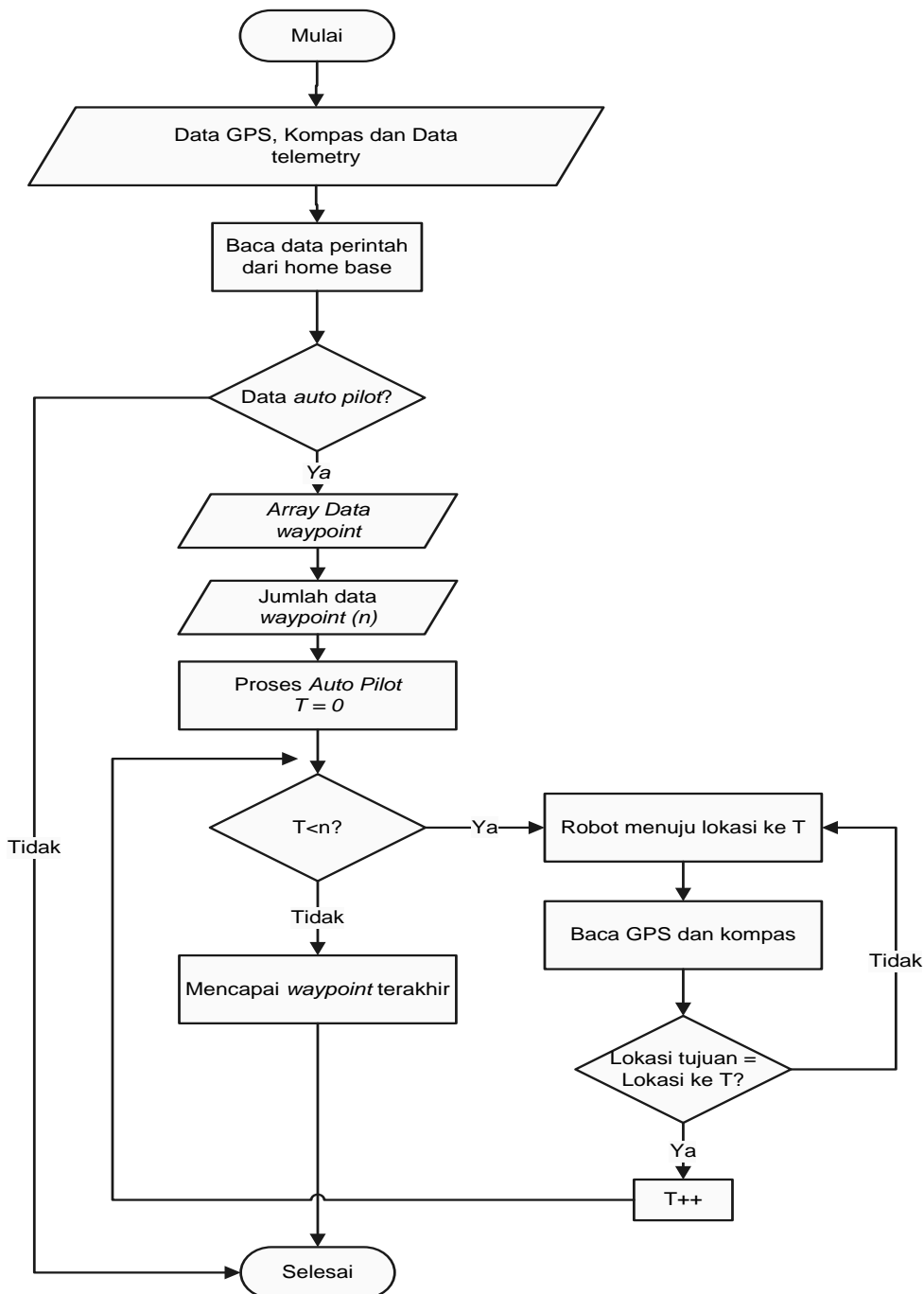
Cara kerja alat yang direncanakan dapat dijelaskan perbagian berdasarkan fungsi komponen atau perangkat kerasnya sebagai berikut:

1. Arduino Nano, merupakan unit proses utama dalam pengolahan misi perjalanan *mobile robot (board controller)*.
2. Telemetri, merupakan perangkat komunikasi nirkabel yang bekerja pada frekuensi 2.4Ghz yang diintegrasikan pada *mobile robot* untuk menerima maupun mengirimkan data ke *Ground Station* via jaringan nirkabel.
3. Kompas, merupakan perangkat atau sensor yang digunakan untuk mengukur haluan terhadap sudut bumi. Kompas yang digunakan adalah HMC5883L.
4. GPS, merupakan perangkat untuk identifikasi posisi pada lintang dan bujur terhadap bumi, perangkat GPS yang digunakan adalah GPS-NEO 6M.
5. Motor driver, merupakan perangkat kendali putaran motor DC berdasarkan masukan PWM (*Pulse width modulation*). Penelitian ini menggunakan driver motor L298N.
6. Baterai, baterai yang digunakan adalah baterai 2S 3000 mAH

Pada Rancang Bangun Model Robot Mobil Beroda, dalam penerapannya Arduino Nano akan berfungsi sebagai berikut:

1. Memproses data komunikasi dengan perangkat PC via serial port.

2. Memproses data sensor GPS dan Compass.
3. Menjalankan fungsi kerja secara *autonomous* berdasarkan titik-titik lokasi yang sudah direncanakan.
4. Menjalankan semua fungsi monitoring lokasi, orientasi robot, lokasi dan kecepatan robot secara *real time*.



Gambar 2. Diagram alur sistem Robot Mobil Beroda

Pada penelitian Rancang Bangun Kendali Kendali Cerdas dan Otonom pada Robot Mobil Beroda, dapat dijelaskan alur kerja sistem pada diagram alur sistem *autonomous* Gambar 2. Pada mode ini, Robot Mobil Beroda dapat melakukan misi perjalanan sesuai dengan *waypoint* yang telah ditentukan. *Waypoint* merupakan titi-titik lokasi yang ditentukan nilai koordinatnya (latitude dan longitude) melalui *Ground Station*. *Model Mobile Robot* akan melakukan misi perjalanan, dimulai dari *waypoint* pertama hingga *waypoint* terakhir. Selama melakukan perjalanan robot akan mengirimkan data lokasi GPS, kompas ke *Ground Station* setiap 0.5 detik, hal ini bertujuan agar pergerakan robot dapat terpantau secara terus menerus. Saat robot berjalan menuju ke lokasi ke-n maka robot akan melakukan identifikasi lokasi berdasarkan GPS dan sudut haluan berdasarkan kompas. Selama jarak lokasi robot dengan lokasi tujuan kurang 2 meter maka robot akan berjalan menuju lokasi ke-n. Jika robot masuk dalam radius 2 meter maka robot dianggap telah mencapai lokasi ke-n dan dilanjutkan ke lokasi berikutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Robot Mobil Beroda terdiri dari beberapa fungsi kerja yang dapat disebutkan sebagai berikut:

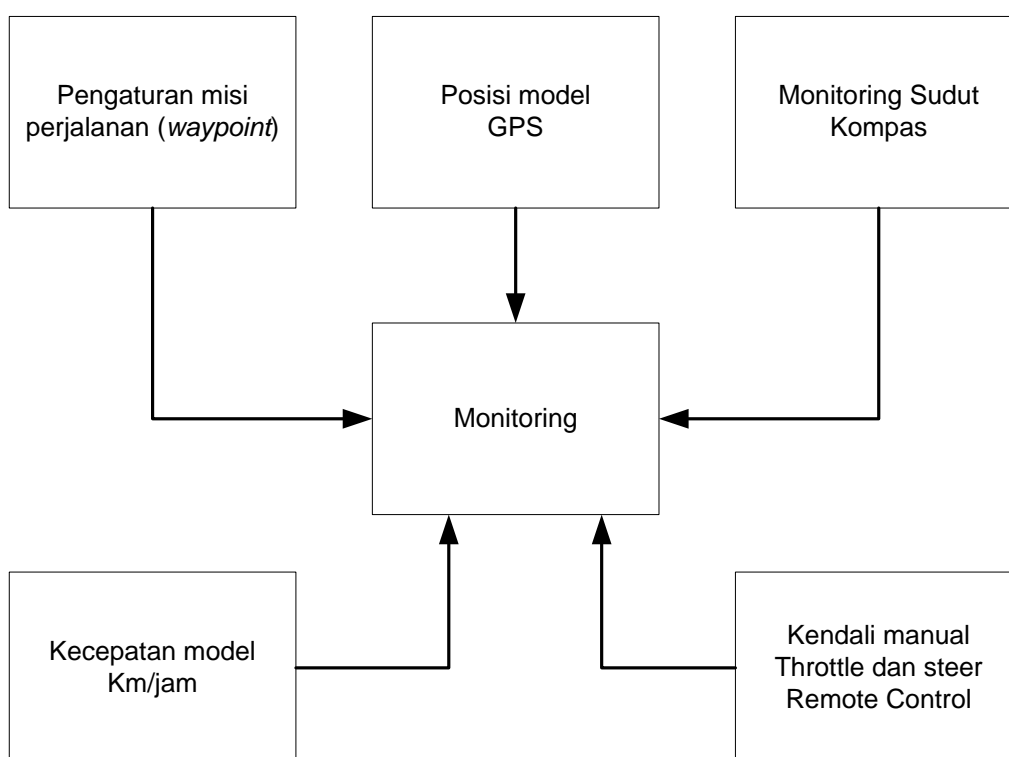
1. Modul komunikasi *wireless* menggunakan Arduino Nano dan telemetry NRF24L01.
2. *Board controller* pada model robot menggunakan Arduino Nano dan telemetry NRF24L01.
3. Sensor kompas menggunakan HMC5883L.
4. Sensor identifikasi lokasi menggunakan GPS NEO-6M.
5. Menggunakan motor dc untuk sistem penggerak 2 roda
6. Kendali putaran motor dc L298N untuk mengatur kecepatan putar motor dc.
7. Baterai 2S 3000mAh, sebagai sumber daya listrik utama model robot.

Sistem monitoring dan pemetaan Model Robot Mobil terdiri dari beberap fitur yang dapat disebutkan sebagai berikut:

1. Monitoring posisi model *Autonomous Mobile Robot* berdasarkan koordinat latitude dan longitude, yang diperoleh dari data GPS.

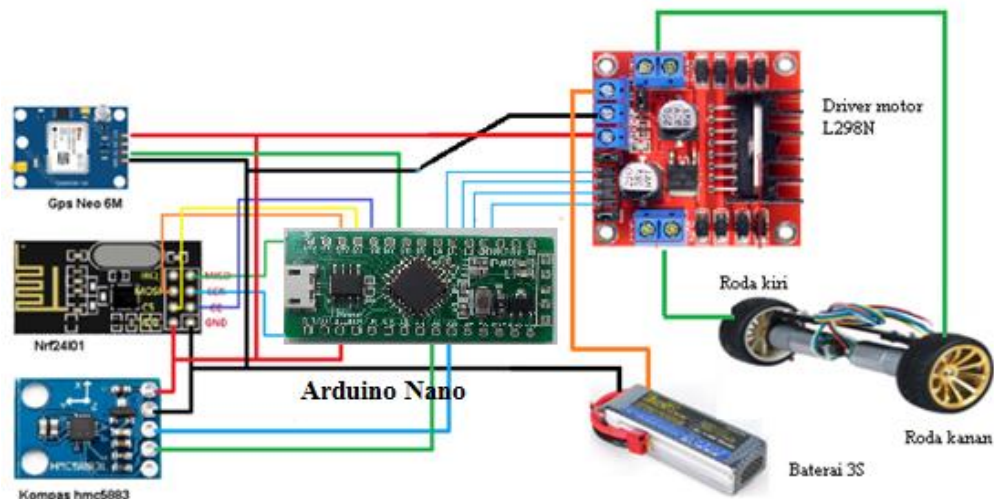
2. Monitoring sudut model *Autonomous Mobile Robot* terhadap sumbu bumi berdasarkan data kompas.
3. Monitoring kecepatan perpindahan posisi model *Autonomous Mobile Robot* dalam satuan km/jam berdasarkan data GPS.
4. Kendali manual *throttle* dan *steer*.
5. Pengaturan misi perjalanan dengan menentukan titik lokasi *waypoint*.

Gambar 3 menjelaskan fitur-fitur yang tersedia pada *Ground Station Monitoring*. Fitur-fitur tersebut digunakan untuk memonitor status dan kondisi model saat melakukan misi perjalanan. Data-data yang disajikan diperoleh dari model yang dikirimkan ke *Ground Control Station* (GCS) melalui komunikasi *wireless* pada frekuensi 2.4 Ghz.



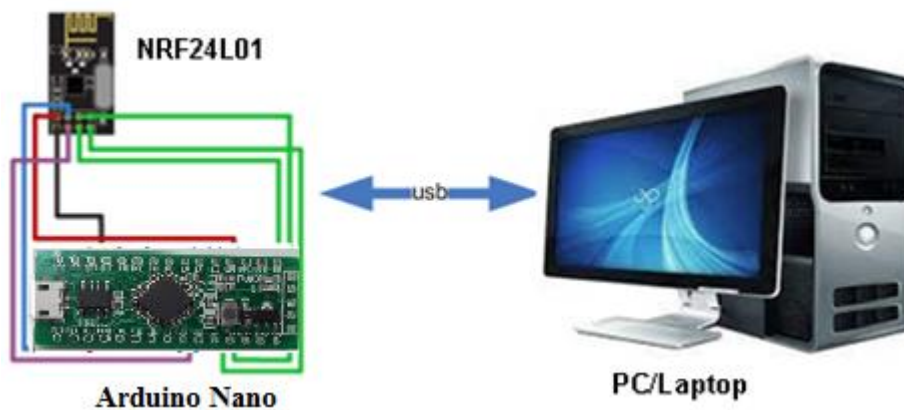
Gambar 3. Fitur-fitur *Ground Station Monitoring*

Skema Rancangan perangkat elektronik yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.

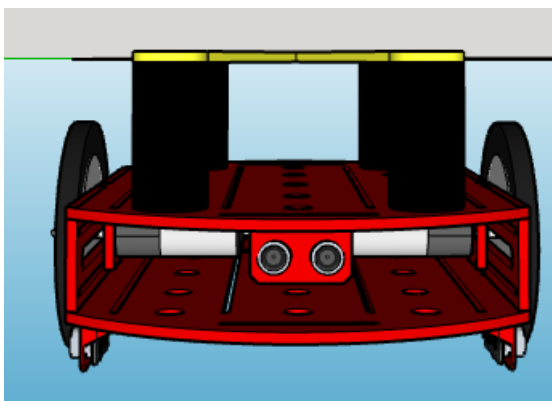


Gambar 4. Rancangan Perangkat Elektronik

Rancangan perangkat elektronik pada *Ground Station* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.

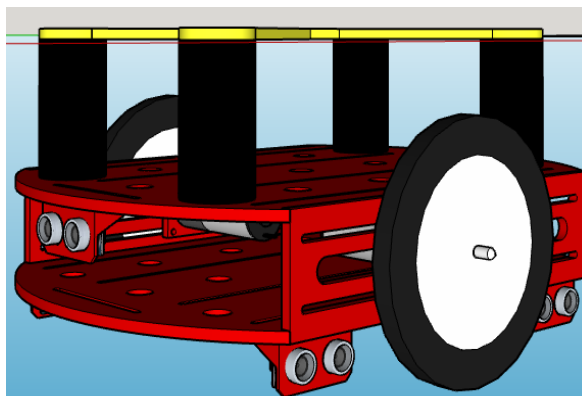


Gambar 5. Rancangan Perangkat Elektronik Ground Station



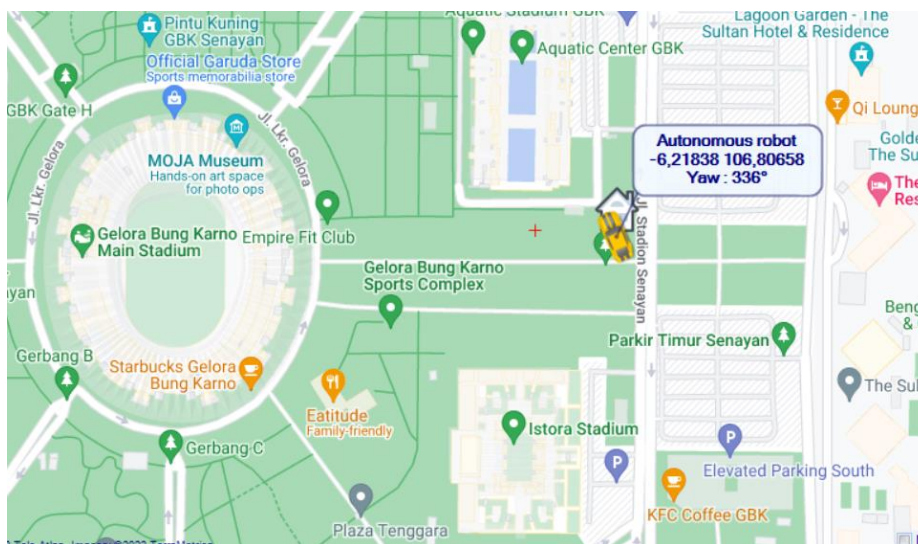
Gambar 6. Desain mekanik robot tampak depan

Bagian belakang robot direncanakan untuk meletakkan dua roda pada sisi kanan kiri. Sisi depan robot untuk meletakkan satu roda bebas, dan sisi tengah untuk menempatkan sensor kompas. Desain mekanik dari *Mobile robot* dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Desain tersebut terdiri dari gambar robot tampak depan dan gambar robot tampak samping.



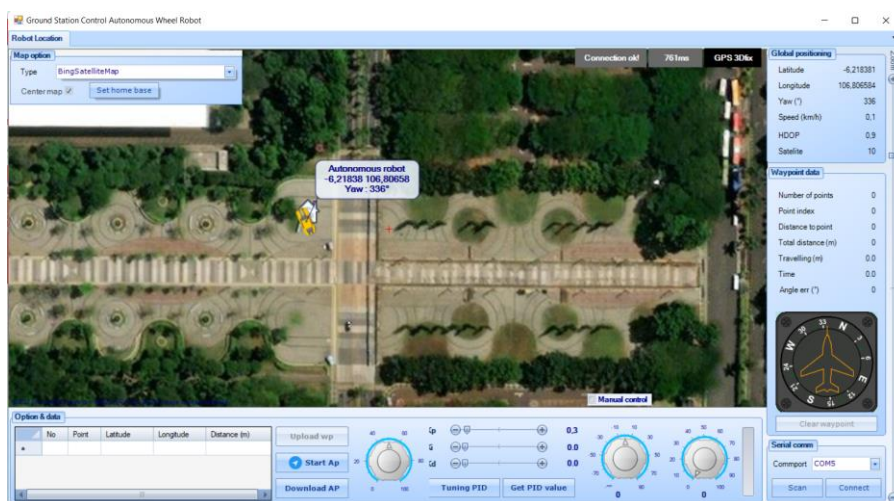
Gambar 7. Desain mekanik robot tampak samping

Langkah pengujian merupakan langkah lanjutan setelah implementasi dilakukan. Pengujian dilakukan perbagian yang terdiri dari pengujian perangkat komunikasi, perangkat model robot, perangkat mekanik seperti motor DC, serta pengujian autopilot. Pengujian dilakukan untuk memastikan semua perangkat telah bekerja dengan baik. Gambar 8 merupakan hasil uji peta elektronik, yang menunjukkan posisi marker pada peta.



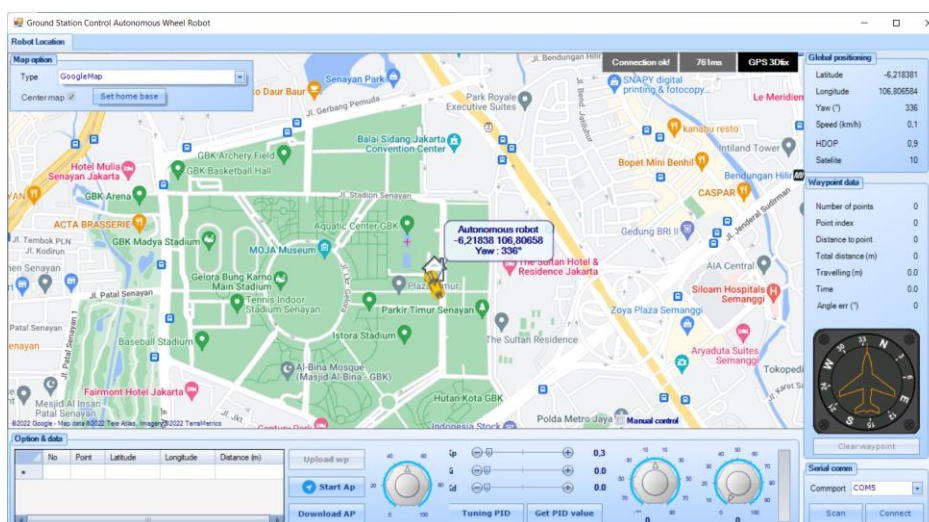
Gambar 8. Hasil uji peta elektronik dengan penambahan marker

Pada pengujian peta elektronik yang telah dilakukan digunakan peta hybrid china map, untuk pengujian selanjutnya menggunakan Google Satellite Map, hasil uji peta elektronik ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Hasil uji peta elektronik menggunakan Google Satellite Map

Data monitoring merupakan data-data yang dikirimkan oleh *mobile robot* ke *ground station* untuk ditampilkan dalam bentuk variabel angka dan visualisasi pada antar muka program. Data-data yang diperoleh oleh *Ground Control Station* (GCS) diperoleh melalui komunikasi *wireless*. Untuk dapat berkomunikasi dengan *mobile robot*, perangkat GCS melalui komunikasi *wireless* melalui perangkat NRF24L01. Tampilan antar muka program pada halaman awal program setelah koneksi dengan *wireless* berhasil dilakukan, ditunjukkan pada gambar 10.

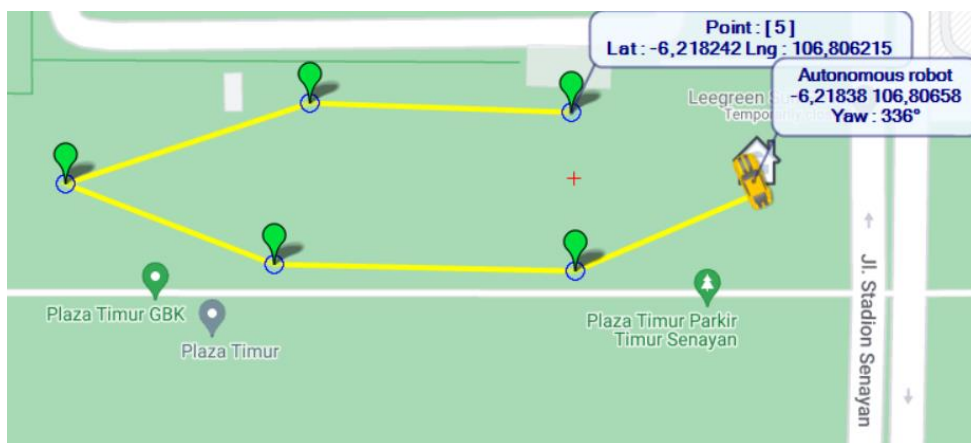


Gambar 10. Tampilan Antar muka *Ground Control Station* (GCS)

Untuk melakukan pengujian pengaturan *Waypoint* pada peta elektronik pada antar muka program C#, didefinisikan langkah-langkah yang harus dilakukan sebelum melakukan pengujian program, yaitu:

1. Menentukan lokasi awal, secara *default* lokasi awal merupakan lokasi GCS, yang merupakan titik lokasi awal *mobile robot*
2. Menentukan titik tujuan berikutnya, pengguna menambahkan titik selanjutnya dengan melakukan klik ganda lokasi pada peta sesuai yang diharapkan.

Salah satu pengujian yang dilakukan adalah menguji 5 *waypoint* dengan klik dua kali mouse pada lokasi peta yang dituju atau menggunakan penambahan lokasi *waypoint* secara manual. Berikut tampilan antar muka pengaturan 5 *waypoint* yang ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11. Pengaturan 5 Waypoint

Dengan dibuatnya rute perjalanan *mobile robot* yang telah dibuat dan dilakukan pengujian, maka data-data *waypoint* dapat ditampilkan dalam bentuk list yang menjelaskan urutan pada rute perjalanan yang telah tersusun. Ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data 5 *Waypoint*

No	Latitude	Longitude	Jarak
1	-7,318,697	110,492,784	23,5 m
2	-731,864	110,492,581	17,1 m
3	-7,318,765	110,492,545	14,1 m
4	-7,318,858	110,492,462	12,2 m
5	-7,318,931	110,492,593	13,1 m

Total jarak dan banyaknya titik-titik lokasi yang dikunjungi ditunjukkan pada Gambar 12.

Number of points	5
Point index	0
Distance to point	0.0
Total distance (m)	79,9

Gambar 12. Informasi Perjalanan Robot melalui Waypoint

Pengujian *autopilot* bertujuan mengetahui apakah sistem *autopilot* yang dibuat pada *ground station* dapat berjalan dengan baik. Untuk menjalankan sistem *autopilot* dapat dijabarkan pada langkah-langkah berikut ini.

1. Menghubungkan sistem ke jaringan wireless, menyalakan atau menghubungkan sumber daya baterai *mobile robot*.
2. Menentukan lokasi *ground station*.
3. Membuat *waypoint*.
4. *Upload* data *waypoint* ke *mobile robot* melalui komunikasi wireless.
5. Menjalankan proses auto pilot.

Kegiatan pengujian autopilot dilakukan dengan skenario 4 waypoint. Diuji pada rute 4 *waypoint* dan menekan tombol start untuk menjalankan misi perjalanan. *mobile robot* akan bergerak menuju titik koordinat ke point 1 dengan jarak 23.5 m. Potongan pergerakan atau perubahan posisi robot ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Mobile Robot telah mencapai *Waypoint 4*

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan penelitian Rancang Bangun Kendali Cerdas dan Otonom pada Robot Mobil Beroda yaitu: Sinyal GPS sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca. Cuaca mendung akan menghalangi sinyal satelit untuk mencapai sensor GPS. Jika sinyal satelit didapatkan lebih dari 10 satelit akan diperoleh akurasi lokasi cukup baik untuk diterapkan pada sistem *autopilot* karena akurasi atau ketepatan lokasi akan lebih baik dengan nilai kesalahan lokasi yang rendah.

Dalam sistem transmisi data, halangan atau *obstacle* dapat mempengaruhi jarak transmisi. Semakin banyak halangan akan semakin pendek jarak diperoleh. Halangan dapat mempengaruhi paket data yang diterima pada *receiver*. Ditemukan kesalahan Paket Data, hal ini ditunjukkan dengan kehilangan sejumlah bytes data yang diterima. Hal ini berakibat data tidak sepenuhnya diterima sehingga disebut *packet loss*.

Dalam pengujian *mobile robot* secara *autopilot*, *robot* dapat bergerak secara otonom dimana titik-titik lokasi tujuan dibuat pada *Ground Control Station* (GCS) dengan mentransmisikan data-data lokasi *waypoint* ke robot maka robot akan bergerak menuju titik-titik lokasi yang telah ditentukan.

Adapun rekomendasi untuk pengembangan sistem lebih lanjut adalah: Mengembangkan sistem kamera untuk pemantauan. Mengembangkan penggunaan jaringan internet untuk menjangkau jarak yang lebih jauh.

REFERENSI

- Agustina, R., Wahyu, D., Politeknik, W., & Malang, N. (2019). *Microcontroller Arduino Untuk Pemula (Disertai Contoh-contoh Projek Menarik)*. 1(August), 256. <https://www.researchgate.net/publication/335219524>
- Alakshendra, V, & Chiddarwar, SS (2017). Adaptive robust control of Mecanum-wheeled mobile robot with uncertainties. *Nonlinear Dynamics*, Springer, <https://doi.org/10.1007/s11071-016-3179-1>
- Binh, NT, Tung, NA, Nam, DP, & Quang, NH (2019). An adaptive backstepping trajectory tracking control of a tractor trailer wheeled mobile robot. *International Journal of Control* ..., Springer, <https://doi.org/10.1007/s12555-017-0711-0>

- Gong, A., & Verstraete, D. (2017). Experimental testing of electronic speed controllers for UAVs. *53rd AIAA/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference, 2017, July*.
<https://doi.org/10.2514/6.2017-4955>
- Ma'arif, M. N. H. (2021). "TA : Sistem Navigasi pada Mobile Robot Menggunakan Sensor Kompas," undergraduate, Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya.
- Mu, J, Yan, XG, Spurgeon, SK, & ... (2017). Nonlinear sliding mode control of a two-wheeled mobile robot system. *International Journal of ...*, inderscienceonline.com,
<https://doi.org/10.1504/IJMIC.2017.082943>
- Nakata, E. Ebihara, T., Mizutani, K. (2014). "Mobile robotic access point for transitional optimization of wireless access point positioning", in *IEEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics (GCCE)*, Oct. 2014.
- Putro, B. C. S., Rochim, A. F., & Widiyanto, E. D. (2016). Rancang Bangun Purwarupa Sistem Navigasi Tanpa Awak untuk Kapal. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Komputer*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.4.1.2016.1-8>
- Saputra, F. R., & Rivai, M. (2018). Autonomous Surface Vehicle sebagai Alat Pemantau Lingkungan Menggunakan Metode Navigasi Waypoint. *Jurnal Teknik ITS*, 7(1).
<https://doi.org/10.12962/j23373539.v7i1.28493>
- Stefek, A, Pham, T Van, Krivanek, V, & Pham, KL (2020). Energy comparison of controllers used for a differential drive wheeled mobile robot. *IEEE Access*,
ieeexplore.ieee.org, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9193941/>
- Wahyudi, W., Brotopuspito, K. S., & Suyanto, I. (2020). Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Infra Merah Menggunakan Pesawat Udara Tanpa Awak (UAV) untuk Memantau Aktivitas Gunungapi. *Jurnal Fisika Indonesia*, 23(1), 1.
<https://doi.org/10.22146/jfi.v23i1.39975>
- Wang, C, Liu, X, Yang, X, Hu, F, Jiang, A, & Yang, C (2018). Trajectory tracking of an omni-directional wheeled mobile robot using a model predictive control strategy. *Applied Sciences*, mdpi.com, <https://www.mdpi.com/2076-3417/8/2/231>
- Xiao, H, Li, Z, Yang, C, Zhang, L, Yuan, P, & ... (2016). Robust stabilization of a wheeled mobile robot using model predictive control based on neurodynamics optimization. *IEEE Transactions ...*, ieeexplore.ieee.org,
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7562522/>

-
- Xin, L, Wang, Q, She, J, & Li, Y (2016). Robust adaptive tracking control of wheeled mobile robot. Robotics and Autonomous Systems, Elsevier, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921889015301007>
- Zhang, B, Li, G, Zheng, Q, Bai, X, Ding, Y, & Khan, A (2022). Path planning for wheeled mobile robot in partially known uneven terrain. Sensors, mdpi.com, <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/14/5217>