

Uji Akurasi *Grid-Edge-Depth Map* Pada Purwarupa Alat Bantu Melihat Menggunakan Kamera Stereo

Budi Rahmani

Program Studi Teknik Informatika, STMIK Banjarbaru
 Jl. A. Yani, KM. 33,5 Loktabat, Banjarbaru, Indonesia
 budirahmani@gmail.com

Abstract

The Grid-Edge-Depth Map (GED-map) algorithm can measure objects with distances from 64 cm to 500 cm and has been tested on a wheeled robot to help it avoid obstacles in the experimental environment. This study examines the accuracy of the GED-map that can be used to help people with visual impairments. The research was conducted by modifying a stereo camera into a device that can be used by humans such as a helmet and processed by a laptop. The test was carried out with three scenarios that required the user to stand at a distance of 100 cm, 125 cm and 150 cm from a table, chair, or wall with 15 tests in each scenario. The results of the distance measurement by the system are then computed based on the angle of the installed stereo camera and compared the results with the real distance. The test results show an average accuracy of 94.86% with 3 experimental scenarios, which means that this tool is feasible to implement. It's just that research and improvement need to be done to reduce the size of the distance measurement processing computer that currently uses a laptop.

Keywords: *GED-map; Visual impairment; Stereo cameras; Viewing aids*

Abstrak

Algoritme *Grid-Edge-Depth Map (GED-map)* dapat mengukur objek dengan jarak antara 64 cm sampai dengan 500 cm dan telah diuji pada robot beroda untuk membantunya menghindari halangan yang ada di lingkungan percobaan. Penelitian ini menguji akurasi *GED-map* yang dapat dimanfaatkan untuk membantu para penyandang disabilitas penglihatan. Penelitian dilakukan dengan memodifikasi kamera stereo menjadi perangkat yang bisa digunakan oleh manusia seperti *helm* dan diproses oleh sebuah laptop. Pengujian dilakukan dengan tiga skenario yang menyangkut pengguna alat untuk berdiri pada jarak 100 cm, 125 cm dan 150 cm terhadap meja, kursi, maupun tembok dengan 15 kali pengujian pada setiap skenarionya. Hasil pengukuran jarak oleh sistem kemudian dikomputasi berdasarkan sudut kamera stereo yang terpasang dan dibandingkan hasilnya terhadap jarak riil. Hasil pengujian menunjukkan rerata akurasi sebesar 94,86% dengan 3 skenario percobaan, yang artinya alat ini layak untuk diimplementasikan. Hanya saja penelitian dan penyempurnaan perlu dilakukan untuk mengurangi ukuran komputer pemroses pengukuran jarak yang sementara ini masih menggunakan laptop.

Kata kunci: *GED-map; Disabilitas penglihatan; Stereo camera; Alat bantu melihat*

1. Pendahuluan

Penyandang disabilitas penglihatan seringkali menggunakan alat bantu navigasi berupa tongkat pada saat berjalan atau beraktifitas di lingkungan tertentu. Hal tersebut tentu saja dilakukan pada saat mereka tidak didampingi oleh teman atau kerabat dekatnya. Ada juga tongkat yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik, namun memang dengan keterbatasan fungsinya tidak sepenuhnya dapat membantu navigasi para penyandang disabilitas penglihatan di lingkungan tertentu. Belum banyak alat bantu yang dapat digunakan oleh para penyandang disabilitas penglihatan ini tanpa harus melakukan operasi transplantasi mata atau sejenisnya. Dalam artian bahwa belum banyak alat bantu melihat yang dapat langsung digunakan tanpa harus melibatkan tindakan medis sama sekali. Dengan kata lain, harus ada alat bantu yang

penyandang disabilitas cukup mengenakannya dengan diberikan pembelajaran singkat terkait cara pengoperasian alatnya, kemudian alat bantu melihat siap digunakan.

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian sebelumnya yang telah mengujicobakan algoritme GED-map yang mampu mengukur objek dengan jarak antara 64 cm sampai dengan 500 cm. Pengujian algoritme telah dilakukan dengan menggunakan sebuah robot beroda dengan model *holonomic-drive system*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa menggunakan algoritme tersebut, robot dapat menghindari halangan yang ada di lingkungan percobaan dengan tambahan rule atau aturan yang ditanamkan pada robot [1].

Pengujian algoritme pada robot beroda tentu saja akan sangat berbeda dengan pengujian yang melibatkan manusia sebagai penggunaannya. Karena secara digital program, apa yang diperoleh berdasarkan pengukuran jarak objek menggunakan algoritme *GED-map* tersebut dapat langsung dijadikan dasar perintah berikutnya oleh komputer kepada robot yaitu berupa perintah arah gerak robot.

Berbeda halnya dengan pemberian informasi kepada manusia, lebih-lebih kepada penyandang disabilitas penglihatan, maka perlu dicari formula dan indikator yang cocok agar informasi jarak tersebut benar-benar dapat dimanfaatkan oleh manusia sebagai pembantu dalam rangka navigasinya. Informasi berupa suara dan getaran sementara diduga dapat dimanfaatkan untuk memberikan panduan kepada pengguna alat bantu melihat ini dalam bergerak atau bernavigasi di lingkungan sekitar. Tentu saja purwarupa alat ini nantinya harus bisa dibawa dan digunakan dengan mudah.

Penelitian ini telah mengembangkan purwarupa alat bantu melihat bagi penyandang disabilitas penglihatan dengan memanfaatkan hasil akuisisi video menggunakan kamera stereo. Kamera tersebut dipasang di atas sebuah helm umum yang digunakan pesepeda dan diproses menggunakan sebuah komputer jinjing yang dimasukkan ke dalam sebuah tas ransel. Hasil penelitian diharapkan menjadi cikal bakal alat bantu melihat yang portabel dan terintegrasi serta menggunakan memproses video yang lebih ringkas, lebih ringan, lebih hemat energi. Dan juga, hasil penelitian diharapkan menjadi referensi bagi penelitian lanjutan.

2. Tinjauan Pustaka

Manusia sebagai makhluk Tuhan yang paling sempurna, dibekali dengan berbagai kemampuan dalam melakukan berbagai hal dalam kehidupan sehari-hari. Namun ada sebagian lagi yang diberikan keterbatasan atau ketidakmampuan dalam hal tertentu. Disabilitas atau ketidakmampuan seseorang ada berbagai macam jenisnya. Salah satunya adalah disabilitas dalam penglihatan. Seorang difabel dalam melihat biasanya dikaruniai dengan kemampuan lainnya, misalnya pendengaran yang lebih baik dari orang lain pada umumnya yang normal [2].

Belum banyak alat bantu yang dapat digunakan oleh para penyandang disabilitas penglihatan ini tanpa harus melakukan operasi transplantasi mata atau sejenisnya. Dalam artian bahwa belum banyak alat bantu melihat yang dapat langsung digunakan tanpa harus melibatkan tindakan medis sama sekali. Penyandang disabilitas cukup mengenakan alatnya dan diberikan pembelajaran singkat bagaimana pengoperasiannya, dan alat bantu melihat siap digunakan [3].

Di kehidupan sehari-hari, tidak jarang ditemui penyandang disabilitas penglihatan yang menggunakan alat bantu navigasi berupa tongkat pada saat berjalan atau beraktifitas di lingkungan tertentu. Hal tersebut tentu saja dilakukan pada saat mereka tidak didampingi oleh teman atau kerabat dekatnya [4]. Kebanyakan tongkat yang digunakan adalah tongkat biasa tanpa ada sensor atau tambahan perangkat penunjang lainnya. Ada juga tongkat yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik [5]–[8]. Namun memang dengan keterbatasan fungsinya tidak sepenuhnya dapat membantu navigasi para penyandang disabilitas penglihatan di lingkungan tertentu [7], [8].

Masih berkaitan dengan navigasi, maka ada algoritme yang telah diujicobakan penelitian-penelitian sebelumnya, yaitu dengan cara memperkirakan jarak objek di depan sebuah robot. Algoritme ini yang belum banyak diujicobakan kepada penyandang disabilitas penglihatan. Kamera dalam hal ini merupakan sensor yang dapat memberikan informasi yang nyata mengenai lingkungan untuk keperluan navigasi robot. Selain digunakan secara terpisah, dapat pula digunakan kombinasi diantara sensor-sensor tersebut [9].

Berikutnya dikembangkan lagi model *Sum of Absolute Difference* yang mencoba memperbaiki akurasi dari proses pengukuran objek (berdasarkan disparity map) dengan kamera. Pada model ini robot akan diperintahkan bergerak mundur jika menemukan *obstacle* di

depannya yang berjarak kurang dari 50 cm sebelum kemudian mengarahkannya ke kanan atau ke kiri sebesar 90° [10]–[12].

Karena fokus penelitian ini kearah disabilitas penglihatan, maka Penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan navigasi robot telah mengujicobakan algoritme GED-map yang mampu mengukur objek dengan jarak antara 64 cm sampai dengan 500 cm [12][13]. Pengujian algoritme telah dilakukan dengan menggunakan sebuah robot beroda dengan model holonomic-drive system. Hasil pengujian menunjukkan bahwa menggunakan algoritme tersebut, robot dapat menghindari halangan yang ada di lingkungan percobaan dengan tambahan rule atau aturan yang ditanamkan pada robot [15]. Penelitian lainnya yang dilakukan memanfaatkan algoritme *GED-map* tersebut telah diujicobakan pada robot beroda agar mampu memetakan obstacle dengan ukuran tertentu yang ada di lingkungan percobaan, hasilnya obstacle yang ditemui saat navigasi robot di lingkungan percobaan telah bisa dipetakan [16]. Dan penelitian lanjutan dengan memanfaatkan peta yang sudah dibangun dengan algoritme *GED-map* juga telah menghasilkan program yang mampu membaca peta dua dimensi yang dibangun untuk keputusan arah gerak robot di lingkungan percobaan [15]. Bagian yang membedakan penelitian ini dengan penelitian lainnya adalah pada proses integrasi algoritme GED-map pada purwarupa alat bantu melihat yang dikendalikan oleh sebuah laptop (komputer jinjing) dengan ketahanan baterai kurang lebih 5 jam pada saat digunakan terus menerus dengan kondisi layar mati.

3. Metodologi

Tahapan dalam perancangan purwarupa dan proses mendeteksi objek dan menginformasikannya ke penyandang disabilitas penglihatan antara lain:

- 1) Menentukan posisi kamera stereo pada helm sepeda yang digunakan agar tepat pada bagian mata dari penyandang disabilitas
- 2) Menentukan posisi kamera stereo yang cocok untuk mobilitas pengguna (penyandang disabilitas)
- 3) Mengalibrasi kamera stereo yang digunakan
- 4) Membaca data *GED-map* yang sudah dibangun sebelumnya. Proses membangun *GED-map* ada di hasil penelitian sebelumnya [1]
- 5) Tentukan jarak aman untuk objek di depan kamera yaitu 150 cm
- 6) Ambil data Grid-tengah
- 7) Mengkalkulasi menggunakan sudut 45 derajat menggunakan rumus pythagoras.
- 8) Uji sistem pada skenario pertama, kedua dan ketiga
- 9) Mengkalkulasi nilai akurasi tiap percobaan pada tiap skenario
- 10) Mengkalkulasi rerata nilai akurasi tiap skenario
- 11) Mengkalkulasi rerata nilai akurasi semua skenario

Perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan berupa:

- 1) Helm sepeda
- 2) Kamera stereo (Logitech)
- 3) Laptop (Intel i7 gen 10th, 16 GB RAM, 2 GB VGA, 512 GB SSD)
- 4) MATLAB 2013a
- 5) Power suplai

Blok diagram dari penelitian yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 1. Di diagram tersebut diperlihatkan proses-proses yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Sedangkan yang akan dilakukan pada usulan penelitian ini adalah pada bagan yang berada dalam garis putus-putus berwarna oranye. Target luaran penelitian ini diperlihatkan pada kotak berwarna hijau.

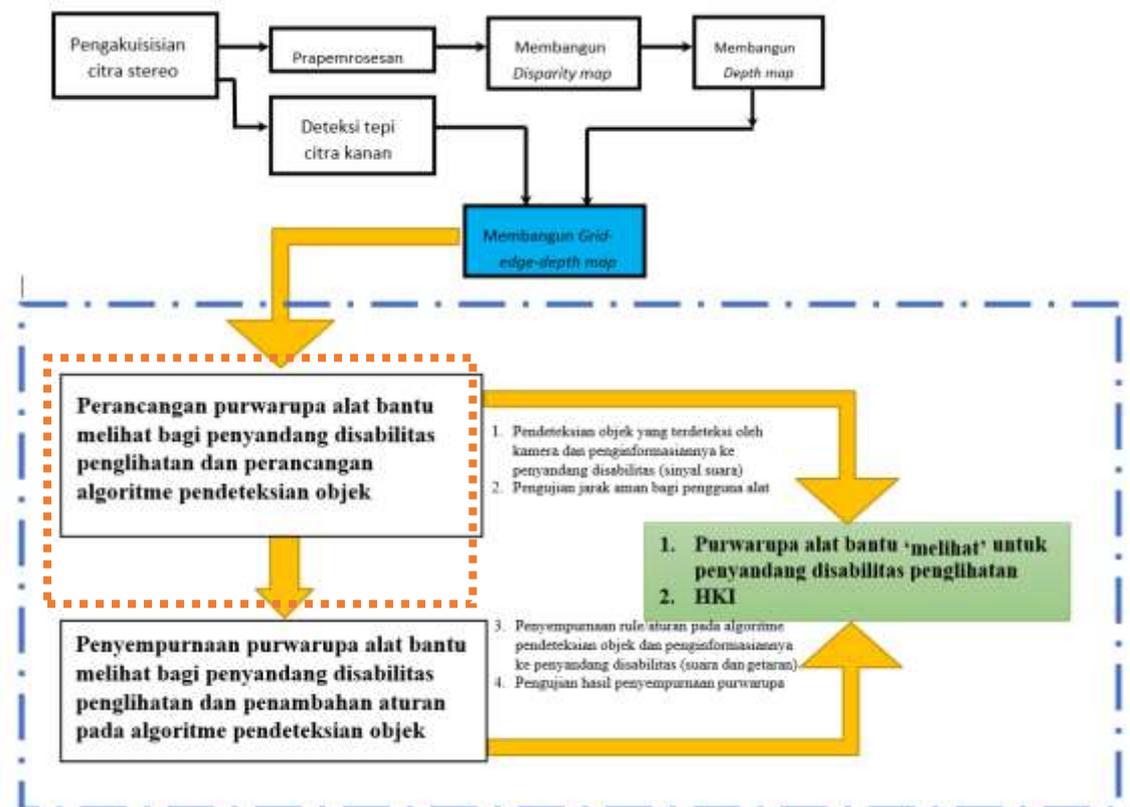
Kemudian Gambar 3 memperlihatkan posisi kamera stereo terhadap objek yang diukur jaraknya. Ada tiga skenario yang diimplementasikan pada penelitian ini dalam rangka mengukur jarak objek di depan si pengguna berdasarkan hasil pengukuran sistem (kamera stereo). Pada penelitian ini sudut posisi kamera adalah 45 derajat. Perhitungan hasil pengukuran tidak bisa dipisahkan dengan sudut posisi kamera stereo terhadap objek di depan si pengguna. Rumus pythagoras digunakan sebagai dasar komputasi.

Algoritme perhitungan dan komputasinya adalah:

- 1) Ukur jarak riil antara pengguna dan objek yang akan diukur oleh sistem (variabel *real*

- distance*)
- 2) Bangun *GED-map*. Proses membangun *GED-map* ada di hasil penelitian sebelumnya [1]
 - 3) Simpan nilai *GED-map* pada grid 3-3 dalam variabel '*stereo distance*'
 - 4) Hitung nilai $\sin 45^\circ$ dan simpan dalam variabel '*sudut kamera*'
 - 5) Hitung nilai jarak hasil kalkulasi dengan mengalikan variabel '*stereo distance*' dan '*sudut kamera*' serta simpan dalam variabel '*calculated distance*'
 - 6) Hitung selisih hasil '*calculated distance*' dan jarak riil, simpan dalam variabel '*selisih*'
 - 7) Hitung akurasi pengukuran dengan rumus:

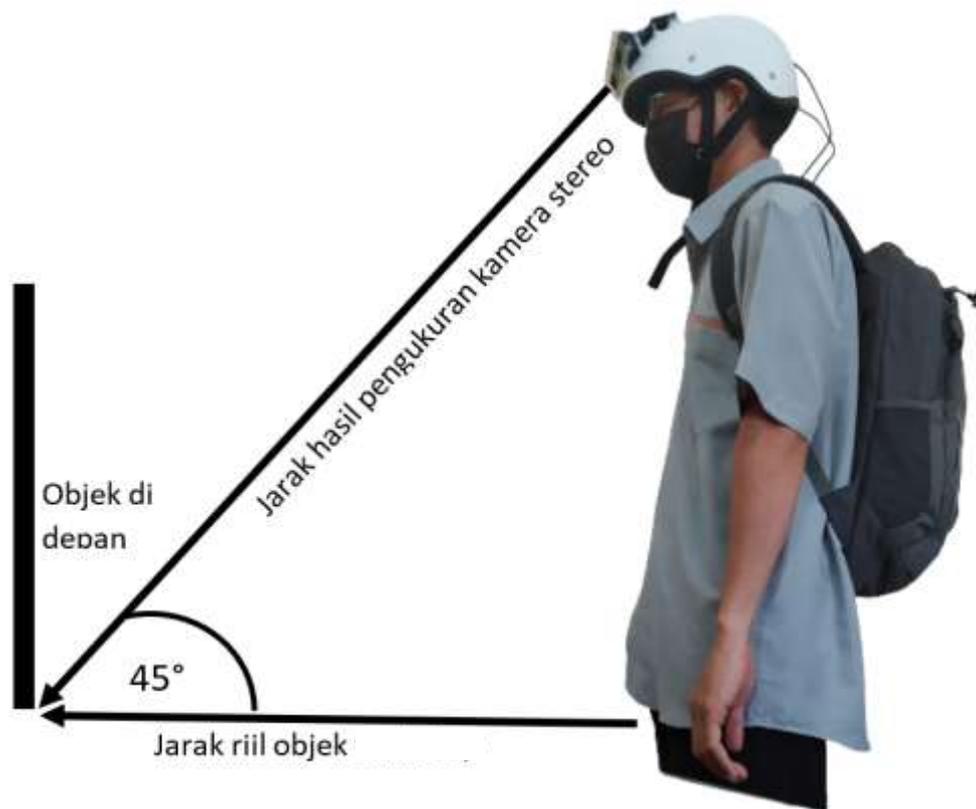
$$Akurasi = 1 - \left(\frac{selisih}{real\ distance} \right) * 100\%$$



Gambar 1. Blok diagram penelitian



Gambar 2. Purwarupa Alat Bantu Melihat



Gambar 3. Posisi Kamera Terhadap Objek Yang Diukur

4. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini telah mengembangkan purwarupa alat bantu melihat bagi penyandang disabilitas penglihatan dengan memanfaatkan hasil akuisisi video menggunakan kamera stereo. Kamera tersebut dipasang di atas sebuah helm umum yang digunakan pesepeda dan diproses menggunakan sebuah komputer jinjing yang dimasukkan ke dalam sebuah tas ransel. Purwarupa yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 3.

Pengujian dilakukan dengan mengukur jarak objek di depan si pengguna berdasarkan hasil pengukuran sistem (berbasis kamera stereo). Perhitungan hasil pengukuran tidak bisa dipisahkan dengan sudut posisi kamera stereo. Pada penelitian ini sudut posisi kamera adalah 45 derajat. Karenanya rumus pythagoras digunakan sebagai dasar komputasi.

Pengujian dilakukan dengan tiga skenario yang menyaratkan pengguna alat/purwarupa untuk berdiri pada jarak antara lain 100cm (skenario 1), 125 cm (skenario 2), dan 150 cm (skenario 3). Pada semua skenario, posisi berdiri si pengguna adalah terhadap benda seperti meja, kursi, maupun tembok dengan 15 kali pengujian pada setiap skenarionya. Hasil pengukuran jarak oleh sistem kemudian dikomputasi berdasarkan sudut kamera stereo yang terpasang. Selanjutnya hasil komputasi sistem dan jarak riil pada masing-masing skenario dibandingkan dan dihitung akurasi tiap percobaannya. Di akhir tiap skenario disampaikan hasil perhitungan akurasi per skenario.

Tabel 1. Hasil Ujicoba Pengukuran Jarak Skenario Pertama

| Stereo Distance (Grid 3-3 in GED) | Sudut kamera = Sin 45' | Calculated Distance = SD * SK (cm) | Real Distance | Selisih = CD-RD | Akurasi= (1-(selisih/Real Distance) * 100% |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------------------|---------------|-----------------|--|
| 120 | 0.85 | 102.11 | 100 | 2.11 | 97.89% |
| 125 | 0.85 | 106.36 | 100 | 6.36 | 93.64% |
| 125 | 0.85 | 106.36 | 100 | 6.36 | 93.64% |

| Stereo Distance (Grid 3-3 in GED) | Sudut kamera = Sin 45' | Calculated Distance = SD * SK (cm) | Real Distance | Selisih = CD-RD | Akurasi= (1-(selisih/Real Distance) * 100% |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------------------|---------------|-----------------|--|
| 124 | 0.85 | 105.51 | 100 | 5.51 | 94.49% |
| 124 | 0.85 | 105.51 | 100 | 5.51 | 94.49% |
| 115 | 0.85 | 97.85 | 100 | 2.15 | 97.85% |
| 114 | 0.85 | 97.00 | 100 | 3.00 | 97.00% |
| 107 | 0.85 | 91.05 | 100 | 8.95 | 91.05% |
| 124 | 0.85 | 105.51 | 100 | 5.51 | 94.49% |
| 121 | 0.85 | 102.96 | 100 | 2.96 | 97.04% |
| 120 | 0.85 | 102.11 | 100 | 2.11 | 97.89% |
| 120 | 0.85 | 102.11 | 100 | 2.11 | 97.89% |
| 101 | 0.85 | 85.94 | 100 | 14.06 | 85.94% |
| 105 | 0.85 | 89.34 | 100 | 10.66 | 89.34% |
| 110 | 0.85 | 93.60 | 100 | 6.40 | 93.60% |
| Rerata akurasi skenario pertama = | | | | | 94.42% |

Tabel 2. Hasil ujicoba pengukuran jarak skenario kedua

| Stereo Distance (Grid 3-3 in GED) | Sudut kamera = Sin 45' | Calculated Distance = SD * SK (cm) | Real Distance | Selisih = CD-RD | Akurasi= (1-(selisih/Real Distance) * 100% |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------------------|---------------|-----------------|--|
| 141 | 0.85 | 119.98 | 125 | 5.02 | 95.98% |
| 141 | 0.85 | 119.98 | 125 | 5.02 | 95.98% |
| 139 | 0.85 | 118.28 | 125 | 6.72 | 94.62% |
| 143 | 0.85 | 121.68 | 125 | 3.32 | 97.34% |
| 140 | 0.85 | 119.13 | 125 | 5.87 | 95.30% |
| 121 | 0.85 | 102.96 | 125 | 22.04 | 82.37% |
| 142 | 0.85 | 120.83 | 125 | 4.17 | 96.66% |
| 130 | 0.85 | 110.62 | 125 | 14.38 | 88.49% |
| 130 | 0.85 | 110.62 | 125 | 14.38 | 88.49% |
| 139 | 0.85 | 118.28 | 125 | 6.72 | 94.62% |
| 137 | 0.85 | 116.57 | 125 | 8.43 | 93.26% |
| 138 | 0.85 | 117.42 | 125 | 7.58 | 93.94% |
| 123 | 0.85 | 104.66 | 125 | 20.34 | 83.73% |
| 142 | 0.85 | 120.83 | 125 | 4.17 | 96.66% |
| 138 | 0.85 | 117.42 | 125 | 7.58 | 93.94% |
| Rerata akurasi skenario kedua = | | | | | 92.76% |

Tabel 3. Hasil ujicoba pengukuran jarak skenario ketiga

| Stereo Distance (Grid 3-3 in GED) | Sudut kamera = Sin 45' | Calculated Distance = SD * SK (cm) | Real Distance | Selisih = CD-RD | Akurasi= (1- (selisih/Real Distance) * 100% |
|---|------------------------------|--|------------------|--------------------|---|
| 170 | 0.85 | 144.65 | 150 | 5.35 | 96.44% |
| 170 | 0.85 | 144.65 | 150 | 5.35 | 96.44% |
| 180 | 0.85 | 153.16 | 150 | 3.16 | 97.89% |
| 178 | 0.85 | 151.46 | 150 | 1.46 | 99.03% |
| 175 | 0.85 | 148.91 | 150 | 1.09 | 99.27% |
| 161 | 0.85 | 137.00 | 150 | 13.00 | 91.33% |
| 180 | 0.85 | 153.16 | 150 | 3.16 | 97.89% |
| 180 | 0.85 | 153.16 | 150 | 3.16 | 97.89% |
| 178 | 0.85 | 151.46 | 150 | 1.46 | 99.03% |
| 186 | 0.85 | 158.27 | 150 | 8.27 | 94.49% |
| 176 | 0.85 | 149.76 | 150 | 0.24 | 99.84% |
| 182 | 0.85 | 154.86 | 150 | 4.86 | 96.76% |
| 175 | 0.85 | 148.91 | 150 | 1.09 | 99.27% |
| 170 | 0.85 | 144.65 | 150 | 5.35 | 96.44% |
| 175 | 0.85 | 148.91 | 150 | 1.09 | 99.27% |
| Rerata akurasi skenario ketiga = | | | | | 97.42% |

Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 menunjukkan hasil percobaan menggunakan skenario 1, 2, dan 3. Hasil rerata akurasi berdasarkan semua percobaan yang dilakukan (3 skenario) bernilai 94,86%. Berdasarkan rerata nilai akurasi hasil pengukuran ini dapat dinyatakan bahwa purwarupa dan sistem yang dibangun dan diujicoba sangat relevan untuk diimplementasikan secara langsung. Hanya saja penelitian dan penyempurnaan perlu dilakukan untuk mengurangi ukuran komputer pemroses pengukuran jarak yang masih menggunakan laptop. Dari situ kemudian hasil penelitian diharapkan menjadi cikal bakal alat bantu melihat yang portabel dan terintegrasi serta menggunakan pemroses video yang lebih ringkas, lebih ringan, lebih hemat energi. Dan juga, hasil penelitian diharapkan menjadi referensi bagi penelitian lanjutan.

Penelitian-penelitian [5] [6] [7] [8] lebih berfokus kepada alat bantu navigasi umum berupa tongkat yang dilengkapi dengan sensor ultrasonik. Sedangkan penelitian ini lebih kepada meniru penglihatan manusia normal pada umumnya yang memiliki indera penglihatan berupa dua buah mata. Kedua mata digantikan oleh semasang kamera yang kemudian dirakit dan dikalibrasi sesuai standar kalibrasi kamera stereo [17] [18] [19]. Jadi pada dasarnya hasil penelitian ini mendukung hasil-hasil penelitian sebelumnya yang mayoritas memanfaatkan sensor ultrasonik pada alat bantu navigasi bagi penyandang disabilitas penglihatan, namun dengan metode yang berbeda dan lebih mendekati fungsi penglihatan umumnya seseorang yang normal.

5. Simpulan

Percobaan telah dilakukan dan menghasilkan rerata akurasi sebesar 94,86% dengan 3 skenario percobaan. Nilai ini menunjukkan alat ini layak untuk kemudian diimplementasikan secara langsung. Hanya saja penelitian dan penyempurnaan perlu dilakukan untuk mengurangi ukuran komputer pemroses pengukuran jarak yang sementara ini masih menggunakan laptop. Berdasarkan hasil yang diperoleh, penelitian ini diharapkan menjadi cikal bakal alat bantu melihat yang portabel dan terintegrasi. Tentu saja diperlukan pemroses video yang lebih ringkas, lebih ringan, lebih hemat energi. Dan tentu saja, hasil penelitian ini diharapkan menjadi referensi bagi penelitian lanjutan.

Daftar Referensi

- [1] B. Rahmani, A. Harjoko, and T. K. Priyambodo, "Grid-edge-depth map building employing sad with sobel edge detector," *Int. J. Smart Sens. Intell. Syst.*, vol. 10, no. 3, pp. 551–566, 2017, doi: 10.21307/ijssis-2017-223.
- [2] A. Maftuhin, "Mengikat Makna Diskriminasi: Penyandang Cacat, Difabel, dan Penyandang Disabilitas," *Inklusi*, vol. 3, no. 2, pp. 1–24, 2016, doi: 10.14421/ijds.030201.
- [3] S. Briesen, H. Roberts, and R. P. Finger, "The impact of visual impairment on health-related quality of life in rural Africa," *Ophthalmic Epidemiol.*, vol. 21, no. 5, pp. 297–306, 2016, doi: 10.3109/09286586.2014.950281.
- [4] T. Octastefani and B. M. A. Kusuma, "The Rise of Ojek Difa: Positioning Difabel as Subject in Providing Inclusive Public Transportation Service for Yogyakarta," in *The 5th ASIAN ACADEMIC SOCIETY INTERNATIONAL CONFERENCE*, pp. 364–371, April 2017.
- [5] A. Kurniawan, "Alat Bantu Jalan Sensorik bagi Tunanetra," *Inklusi*, vol. 6, no. 2, p. 285, 2019, doi: 10.14421/ijds.060205.
- [6] T. B. Pamungkas, "Rancang Bangun Tingkat Ultrasonik Pendeteksi Halangan Dan Jalan Berlubang Untuk Penyandang Tunanetra Berbasis Atmega16," *Repository*, 2013. .
- [7] M. J. Arrofi, M. Ramdani, and Estananto, "Perancangan Alat Bantu Untuk Penderita Tunanetra Dengan Sensor Ultrasonik Menggunakan Logika Fuzzy Aiding Tool Design for Blind People Using Ultrasonic," *e-Proceeding Eng.*, vol. 4, no. 2, pp. 1497–1504, 2017.
- [8] M. N. Al Hasan, C. I. Partha, and Y. Divayana, "Rancang Bangun Pemandu Tuna Netra Menggunakan Sensor Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler," *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 16, no. 3, p. 27-32, 2017, doi: 10.24843/mite.2017.v16i03p05.
- [9] B. Rahmani *et al.*, "Review of Vision-Based Robot Navigation Method," *IAES Int. J. Robot. Autom.*, vol. 4, no. 4, pp. 254–261, 2015, doi: 10.11591/ijra.v4i4.8514.
- [10] A. Alsaab and R. Bicker, "Behavioral Strategy for Indoor Mobile Robot Navigation in Dynamic Environments," *Int. J. Eng. Sci. Innov. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 533–542, 2014.
- [11] C. Ezequiel, "Real-Time Map Manipulation for Mobile Robot Navigation," ProQuest, 2013.
- [12] B. Rahmani, H. Aprilianto, H. Ismanto, and H. Hamdani, "Distance estimation based on color-block: A simple big-O analysis," *Int. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 7, no. 4, pp. 2169–2175, 2017, doi: 10.11591/ijece.v7i4.pp2169-2175.
- [13] B. Rahmani, A. Harjoko, T. K. . K. Priyambodo, and H. Aprilianto, "Research of Smart Real-time Robot Navigation System," in *AIP The 7th SEAMS-UGM Conference 2015*, vol. 1707, pp. 1–8, 2015, doi: 10.1063/1.4940854.
- [14] Y. Kim and S. Kwon, "A heuristic obstacle avoidance algorithm using vanishing point and obstacle angle," *Intell. Serv. Robot.*, pp. 175–183, 2015, doi: 10.1007/s11370-015-0171-4.
- [15] B. Rahmani, A. Harjoko, and T. K. Priyambodo, "A vision-based real-time obstacle avoidance's rules utilising grid-edge-depth map," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 19, no. 1, pp. 513–525, 2020, doi: 10.11591/ijeecs.v19.i1.pp513-525.
- [16] B. Rahmani, A. Harjoko, T. K. Priyambodo, and H. Aprilianto, "Early Model of Vision-Based Obstacle Mapping Utilizing Grid-Edge-Depth Map," *Int. J. Eng. Adv. Technol.*, vol. 9, no. 2, pp. 4519–4523, 2019, doi: 10.35940/ijeat.B4550.129219.
- [17] M. Nguyen, "3D Stereo Camera Calibration." 2016.
- [18] S. Camera and C. Overview, "Stereo Calibration App," 2016. .
- [19] H. Syahputra, A. Harjoko, R. Wardoyo, and R. Pulungan, "Improving Disparity Map of A Specific Object in A Stereo Image Using Camera Calibration , Image Rectification, and Object Segmentation," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 9, no. 22, pp. 17939–17949, 2014.