

Deteksi Objek pada Prototipe Autonomous Car Menggunakan Sensor *Fusion* Kamera Mono dan Sensor Ultrasonik

Akhmad Ibnu Hija
Program Studi Teknik Fisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
ITS
Surabaya, Indonesia
Akhmadhija.19023@mhs.its.ac.id

Katherin Indriawati
Program Studi Teknik Fisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
ITS
Surabaya, Indonesia
katherin@ep.its.ac.id

Mohammad Harwin Prayoga
Program Studi Teknik Fisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
ITS
Surabaya, Indonesia
mohprayoga.17023@mhs.its.ac.id

Abstrak— Teknologi kendaraan berupa ADAS hingga *autonomous car* tidak dapat terlepas dari adanya sensor yang baik. Sensor yang baik sangat dibutuhkan untuk mengenali lingkungan sebagai fungsi alih dari indra manusia. Setiap sensor memiliki kelebihan dan kekurangan, sehingga untuk mendapatkan hasil yang baik, perlu mengekstraksi kelebihan setiap sensor untuk menutupi kelebihan yang lain, yang disebut sebagai sensor *fusion*. Sebagai sensor ukur jarak sensor ultrasonic HC-SR04 digunakan, dan untuk mendapatkan deteksi objek yang lebih baik sensor kamera mono IMX219-160, yang terpasang secara tertanam pada purwarupa *autonomous car Jetson AI Car*. Dengan mini-PC *Jetson nano* sebagai pemroses data dari kedua sensor untuk diterjemahkan menjadi pengenalan objek. Deteksi objek pada kamera menggunakan DNN Yolov4-tiny sebagai algoritma deteksi. Kemudian untuk menyamakan waktu pengukuran perlu mengatur *time delay* untuk sensor ultrasonik sebesar 7 detik. Hasil pengukuran kedua sensor menunjukkan hasil yang baik. Penggabungan kedua sensor mampu berjalan dengan baik, baik dalam kondisi mendeteksi objek diam (statis) maupun bergerak (dinamis). Namun, terdapat penurunan akurasi ketika mendeteksi objek dinamis, dikarenakan sensor ultrasonik yang kurang baik untuk digunakan mendeteksi benda bergerak, serta distorsi kamera besar yang mempengaruhi hasil pengukuran. Maka penting untuk menelaah kembali *device* sensor yang digunakan, untuk mendapatkan sensor yang baik dalam mendeteksi lingkungan.

Kata kunci— *HC-SR04, autonomous car, kamera mono, sensor fusion*

I. PENDAHULUAN

Kecelakaan lalu lintas menjadi salah satu penyebab kematian manusia yang besar terutama di jalan. Menurut [1] kecelakaan lalu lintas terbagi menjadi tiga jenis, tabrakan, terguling dan terbakar. Tabrakan menjadi jenis yang mendominasi kecelakaan lalu lintas, dan faktor manusia menjadi penyebab utamanya, hal ini disebutkan pula oleh. Sebagai solusi untuk mengatasi hal tersebut, penting untuk mengembangkan teknologi pada kendaraan sebagai upaya pencegahan adanya kesalahan dari manusia. ADAS (*Advance Driving Assistant Systems*) dan *autonomous car*/sistem

kendaraan otonom menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Sistem tersebut, terutama *autonomous car* tidak lepas sensor yang baik untuk mendeteksi lingkungan. Sensor memiliki kemampuan deteksi dan keandalan yang berbeda-beda yang dibatasi oleh perbedaan lingkungan [2]. Dengan *multi-sensor fusion*, sensor dapat dipadukan dengan sensor lain sehingga dapat meningkatkan akurasi dan pengenalan dari target deteksi dengan melengkapi kekurangan dari sebuah sensor secara individu.

Penggabungan sensor (*fusion sensor*) telah banyak dilakukan seperti [3], penggabungan sensor menggunakan LiDAR dan kamera stereo. Untuk mendapatkan kelebihan dari masing-masing sensor dimana kekurangan kamera stereo yang tidak bisa mendeteksi kedalaman objek maupun akan terkendala ketika cuaca hujan deras dan berkabut akan ditutupi dengan proyeksi 3D dari LiDAR. Begitu pula dengan pendeteksian objek dari LiDAR yang tidak bisa memberikan segmentasi akan tertutupi dari kelebihan deteksi objek dari kamera stereo. [4] melakukan penggabungan dari sensor radar dengan kamera yang sama-sama mengambil kelebihan dari masing-masing kamera untuk mendapatkan tingkat akurasi yang lebih tinggi untuk mendeteksi objek. Radar digunakan karena biaya yang lebih murah dibandingkan menggunakan LiDAR.

Pada penelitian ini dilakukan pendeteksian objek untuk *autonomous car* menggunakan *fusion sensor* untuk mendapatkan deteksi yang lebih baik. Sensor yang digunakan adalah kamera mono dan ultrasonic. Pemilihan sensor ini dilakukan karena kedua sensor ini adalah sensor paling dasar yang sudah terdapat pada kendaraan paling terjangkau sekalipun. Sehingga, untuk meningkatkan teknologi pada kendaraan tidak diperlukan penambahan biaya yang besar. maka dari itu, penelitian ini dilakukan untuk memanfaatkan teknologi dasar pada kendaraan terjangkau untuk meningkatkan teknologi guna mengurangi resiko terjadinya kecelakaan.

II. METODOLOGI

A. Sensor Fusion

Penelitian ini menggunakan purwarupa berupa *Jetracer AI Robot* sebagai *plant* lalu purwarupa tersebut dilengkapi dengan mini-PC *jetson nano board* sebagai CPU (*Central Processing Unit*) serta sensor ultrasonic HC-SR04 dan kamera mono IMX219-160.

1. Sensor Kamera Mono

Sensor kamera mono bekerja untuk mendeteksi objek yang terdapat di depan kendaraan otonom dengan menggunakan algoritma *deep learning*. Secara umum deteksi objek menggunakan *deep learning* dibagi menjadi dua jenis yaitu *region proposal* berdasarkan metode *two-stage* dan regresi berdasarkan metode *one-stage* [5]. Metode *two-stage* mempunyai tingkat akurasi yang baik, sedangkan metode *one-stage* mampu mendeteksi lebih cepat, sehingga metode *one-stage* lebih memungkinkan untuk digunakan ketika sistem membutuhkan kecepatan deteksi secara *real time* [6]. Metode *one-stage* salah satunya adalah metode *The You Only Look Once* (YOLO).

Deteksi objek pada penelitian yang diusulkan menggunakan *Deep Neural Network* (DNN) YOLOv4-tiny dengan parameter seperti pada Tabel 1. Pemrograman deteksi objek ini menggunakan bahasa pemrograman Python. Dengan menggunakan hasil *training* YOLOv4-tiny, kamera mono mengenali objek terdeteksi sesuai dengan *class* yang telah ditentukan. Objek memiliki ukuran dengan rasio 1:10 dari ukuran mobil *low cost green car* (LCGC). Hasil deteksi yaitu menentukan koordinat gambar dari objek yang terdeteksi berupa koordinat x dan y. koordinat tersebut diambil berdasarkan resolusi gambar yang dihasilkan pada sistem. Untuk mengatur kemampuan deteksi pada kamera, maka perlu diatur "*setInputParams*". Semakin tinggi input yang digunakan maka kemampuan deteksi akan semakin baik namun akan membuat beban komputasi yang semakin berat. Sebaliknya, jika input diatur rendah maka kemampuan deteksi akan berkurang namun meringankan beban komputasi sistem tersebut. Pengaruh beban komputasi tersebut berpengaruh pada delay yang dihasilkan pada sistem. Ukuran gambar keluaran juga diatur untuk menentukan koordinat X dan Y objek pada Gambar 1.

Tabel 1. Parameter metode YOLOv4-tiny

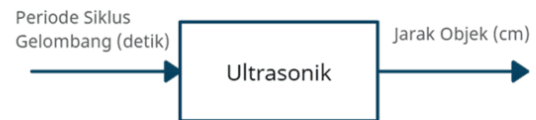
Jenis Data	Jumlah
<i>Training Set</i>	801 Gambar
<i>Validation Set</i>	76 Gambar
<i>Testing Set</i>	38 Gambar
<i>Batch Size</i>	48



Gambar 1. Proses koordinat gambar kamera mono

2. Sensor Ultrasonic

Sensor ultrasonic HC-SR04 digunakan untuk mendeteksi jarak objek dengan kendaraan ego. Sensor ini dapat menentukan jarak dari objek yang berada dalam *Field of View* (FOV). Sensor HC-SR04 ini dipasang sejajar tepat bagian bawah kamera tunggal. Sensor tersebut dapat mendeteksi hanya satu objek terdekat dan memiliki field of view (FOV) sebesar 15°. Dikarenakan voltase output pada jetson nano tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan tegangan pada sensor HC-SR04, maka sensor disambungkan dengan Jetson Nano dengan bantuan daya dari Arduino. Sensor ultrasonic HC-SR04 memulai mengukur jarak ketika *trigger* menerima input sinyal *high* (5 V) selama 10 μ s, kemudian sensor akan mentransmisikan gelombang ultrasonic 8 siklus dengan frekuensi 40 kHz dan menunggu adanya refleksi gelombang tersebut. Ketika terdapat refleksi gelombang, maka sensor akan menerima gelombang tersebut akan mengatur *echo* pada kondisi *high* (5 V), jeda waktu antara sinyal ditransmisikan dan sinyal diterima dihitung yang akan dikonversi menjadi jarak [7].



Gambar 2. Proses pengukuran jarak sensor ultrasonik

3. Penggabungan Sensor (*Fusion Sensor*)

Sistem penggabungan sensor antara kamera mono dengan ultrasonik dapat dilihat pada Gambar 3. Kamera yang berperan sebagai pendeteksi koordinat gambar objek sebagai inisiasi deteksi yang mengambil input berupa video. Video sendiri adalah kumpulan gambar-gambar statis secara berurutan dengan cepat. Dari video yang diambil, potongan-potongan *frame* dari video diproses deteksi objek dengan *Deep Neural Network* metode YOLOv4-Tiny. Hasil dari deteksi objek tersebut akan menghasilkan kotak batas deteksi yang menentukan koordinat objek deteksi. Setelah objek terdeteksi, sensor ultrasonik mengukur jarak objek yang berada di depannya. Hasil keluaran dari gabungan sensor ini berupa koordinat (x, y) dari objek di depan, *class*, lebar objek, tinggi objek serta jarak *ego vehicle* dengan objek. Rancang bangun sistem dengan peletakan sensor yang akan digabungkan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Diagram blok proses fusion sistem



Gambar 4. Model purwarupa dengan sensor fusion

III. HASIL DAN ANALISA

Hasil dan Analisa penelitian ini dapat dilihat pada poin-poin berikut. Hasil dari tiap sensor hingga gabungan keduanya tersajikan dibawah ini.

A. Deteksi kamera mono menggunakan Yolov4-tiny

Deteksi objek kamera mono menggunakan metode *deep neural network* dengan algoritma *Yolov4-tiny*. Tabel 1 menjadi parameter dari algoritma *Yolov4-tiny*, dengan parameter tersebut terbentuklah model untuk mendeteksi objek. Tabel 2 merupakan hasil keluaran model yang telah dibangun.

Tabel 2. Data hasil pelatihan deteksi objek

Metrik	Keterangan
Iteration	2000
Mean Average Precision (mAP)	98,68%
Average Loss	0,10578
Learning Rate	0,00026
Image Total	96000

Iterasi 2000 kali digunakan karena menghasilkan nilai mAP yang sangat baik dan tidak terlalu membebani *Jetson-Nano* sebagai CPU. Sedangkan resolusi *output* yang digunakan pada percobaan ini yaitu 820 x 616. Dengan parameter deteksi yang telah diatur, sistem menghasilkan jumlah *frame per second* (FPS) sebanyak 2 FPS. Berdasarkan FPS tersebut, dilakukan pengukuran lama delay sistem untuk dapat melakukan penyesuaian dengan keluaran (*output*) sensor ultrasonik. delay yang dihasilkan dalam sistem tersebut yaitu sebanyak 7 detik. Oleh karena itu konfigurasi dilakukan dengan membuat sensor ultrasonik mempunyai *time delay* sebesar 7 detik agar mendapatkan waktu deteksi titik yang sama.

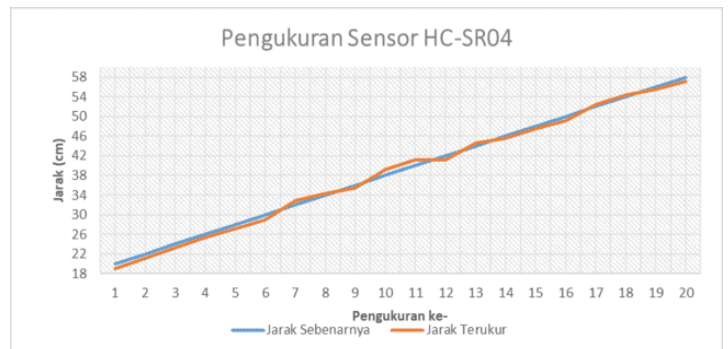
B. Sensor Ultrasonik

Pengukuran jarak dilakukan oleh sensor ultrasonik. Maka perlu sebelum melakukan pengolahan data maka diperlukan suatu pemeriksaan Kembali dari hasil pengukuran. Pengukuran dilakukan dengan mengambil variasi jarak

sebanyak 20 varian. Hal yang divariasikan dalam hal ini adalah jarak sensor ultrasonik HC-SR04 menuju objek. Jarak yang diambil mulai 20 cm hingga 58 cm dengan selisih jarak 2 cm. Hasil pengukuran sensor dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data pengukuran sensor ultrasonik HC-SR04

Jarak Asli (cm)	Jarak Terukur (cm)	Koreksi	Error Pengukuran
20	19,05	-0,95	4,75%
22	21,16	-0,84	3,82%
24	23,2	-0,8	3,33%
26	25,35	-0,65	2,50%
28	27,13	-0,87	3,11%
30	29,01	-0,99	3,30%
32	32,92	0,92	2,88%
34	34,35	0,35	1,03%
36	35,44	-0,56	1,56%
38	39,28	1,28	3,37%
40	41,22	1,22	3,05%
42	41,22	-0,78	1,86%
44	44,61	0,61	1,39%
46	45,51	-0,49	1,07%
48	47,44	-0,56	1,17%
50	49,1	-0,9	1,80%
52	52,48	0,48	0,92%
54	54,36	0,36	0,67%
56	55,55	-0,45	0,80%
58	57,18	-0,82	1,41%
Error rata-rata			2,19%



Gambar 5. Grafik pengukuran sensor HC-SR04

Berdasarkan data tersebut, maka nilai rata-rata rata-rata sebesar 2,19%. Berdasarkan dokumen percobaan oleh [8] mengatakan bahwa percobaannya pada sensor ultrasonik menghasilkan absolute error sebesar 3,17% pada jarak 180 cm. Sehingga penulis simpulkan bahwa hasil error rata-rata pada percobaan sebesar 2,19% masih berada di dalam batas error sensor tersebut yang berarti dapat dikatakan dapat mengukur jarak dengan baik.

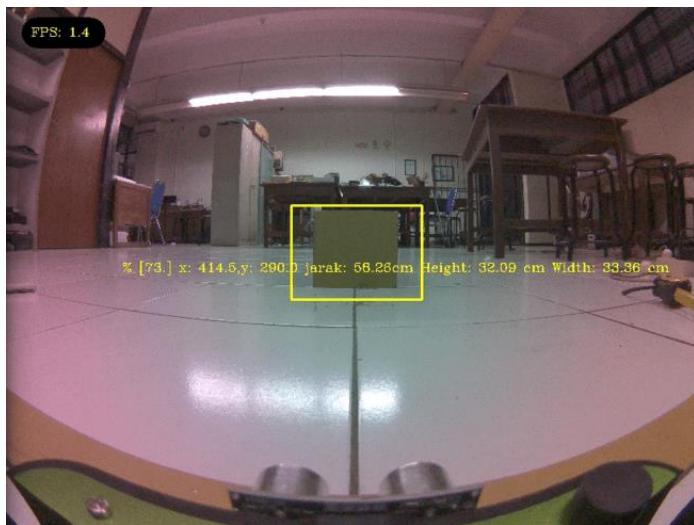
C. Sensor Fusion

Pengukuran sensor *fusion* dilakukan pada kondisi objek diam (statis) dan kondisi objek bergerak (dinamis). Hal ini dilakukan sebagai bentuk pengujian *real-time* dari metode deteksi objek menggunakan sensor *fusion*.

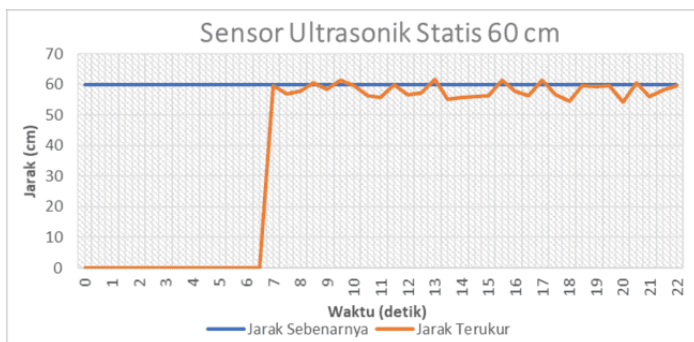
Pengujian Statis

Pengujian performa deteksi objek statis menggunakan 3 skenario yang berbeda-beda. Jumlah objek yang digunakan dalam pengujian ini ada 1 dan 2 objek deteksi yang dimana objek deteksi tersebut adalah *artificial object* yang memiliki perbandingan rasio ukuran 1:10 mobil *Low Cost Green Car* (LCGC) dan *Sport Utility Vehicle* (SUV). Kedua jenis mobil dipilih karena merupakan mobil dengan populasi yang besar di Indonesia. Pengukuran deteksi objek dilakukan selama 22 detik. Pengukuran statis dilakukan dengan jarak asli sebesar 60 cm dan 30 cm.

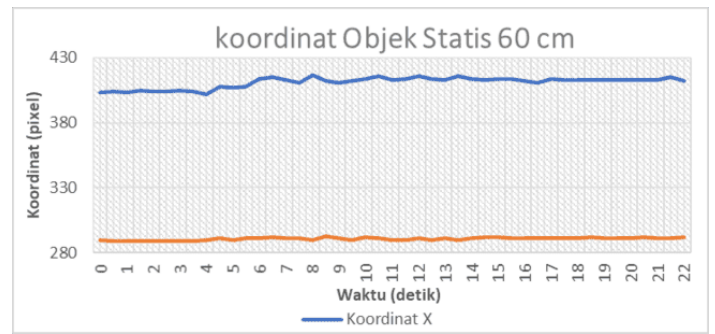
Objek deteksi yang berjarak 60 cm dari kendaraan ego dapat dikenali oleh kamera mono dengan baik. Rata-rata error dan pengukuran tinggi dan lebar yang dihasilkan pada percobaan ini yaitu sebesar 116,82% dengan rata-rata terukur 32,52 cm untuk tinggi dan 114,89% dengan rata-rata terukur 34,38 untuk lebar



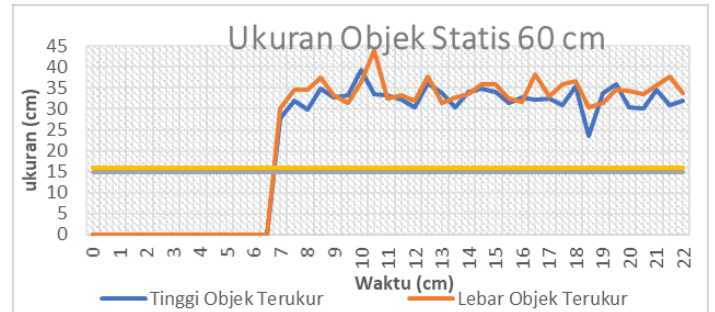
Gambar 6. Hasil deteksi statis pada jarak 60 cm



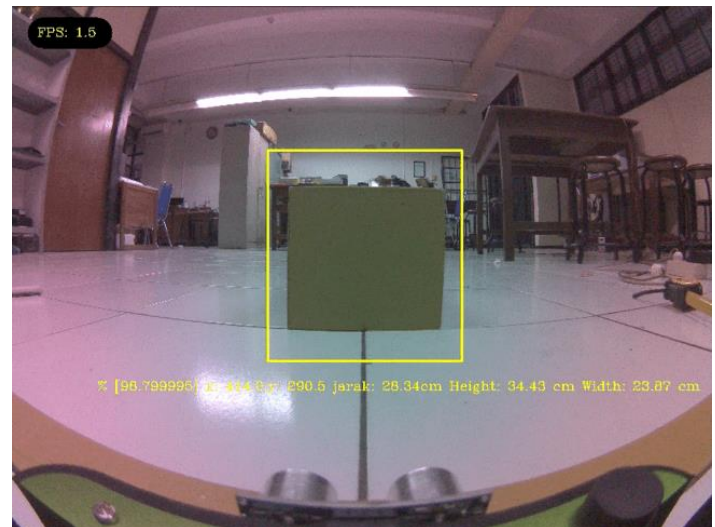
Gambar 7. Pengukuran jarak objek stansi sensor *fusion* jarak 60 cm



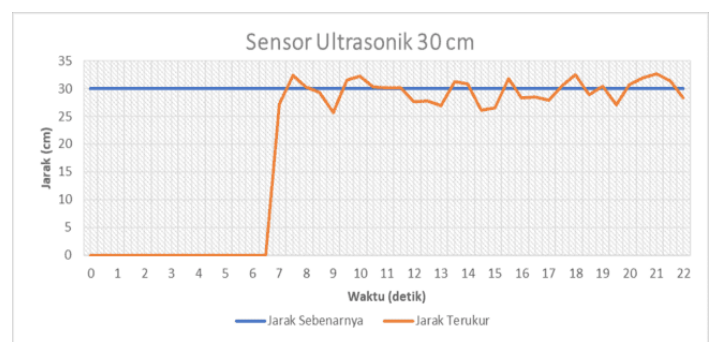
Gambar 8. Koordinat pengukuran objek statis jarak 60 cm



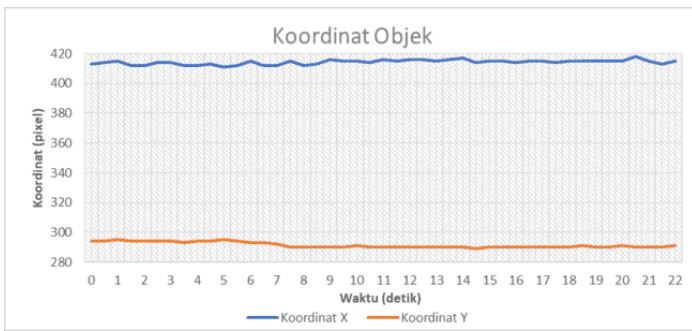
Gambar 9. Ukuran objek statis berjarak 60 cm



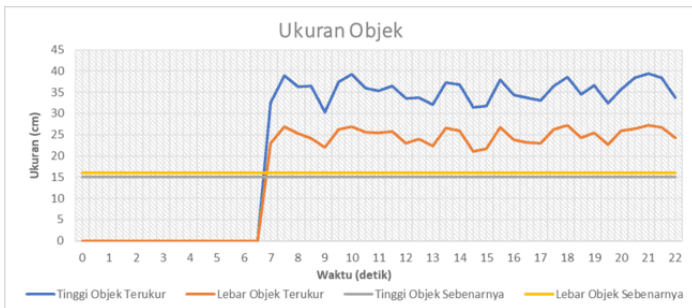
Gambar 10. Hasil deteksi objek statis pada jarak 30 cm



Gambar 11. Pengukuran jarak objek stansi sensor *fusion* jarak 30 cm



Gambar 12. Koordinat pengukuran objek statis jarak 30 cm



Gambar 13. Ukuran objek statis berjarak 30 cm

Hasil data deteksi objek pada jarak 60 cm dan 30 cm menunjukkan data yang hampir serupa. Sensor ultrasonik menunjukkan data awal 7 detik setelah sistem deteksi dijalankan. Perlakuan tersebut untuk mengikuti waktu delay dari deteksi objek pada kamera mono sehingga sensor kamera mono dan sensor ultrasonik dapat berjalan seiringan dan mengeluarkan output pada waktu yang sesama mungkin.

Gambar 8 dan Gambar 12 menunjukkan sedikit penyimpangan koordinat pada detik-detik sekitar detik ke-5 jika dibandingkan dengan detik-detik setelah itu. Hal tersebut terjadi karena di saat sistem mulai dijalankan, *mini PC Jetson Nano* membutuhkan waktu beberapa detik untuk memulai hingga kamera dapat memproses gambar dari lingkungan hingga dapat ditampilkan dengan jelas. Efek tersebut dapat mengakibatkan *error* pada deteksi objek karena pixel kamera belum dapat menampilkan dengan jelas.

Perhitungan pengukuran tinggi dan lebar objek statis berjarak 30 cm pada sistem menunjukkan error yang begitu besar yaitu sebesar 136,38% dengan ukuran rata-rata terukur sebesar 35,46 cm untuk tinggi dan rata-rata error 55,07% dengan ukuran rata-rata terukur sebesar 24,81 cm. Hasil dari kotak batas menggunakan algoritma deteksi objek YoloV4-tiny tidak dapat menghasilkan hasil yang begitu baik dalam menentukan kotak batas yang sesuai dengan objek yang ada pada gambar output. Salah satu faktor yang menyebabkan hal tersebut terjadi yaitu kurang baiknya dataset yang digunakan sehingga menyebabkan sistem tidak dapat menentukan batas

antara lingkungan sekitar (*noise*) dengan objek yang dituju. Selain itu, efek distorsi pada kamera juga dapat mempengaruhi dalam mendeteksi kotak batas objek dengan menentukan sisi-sisi dari objek yang dituju. Sebagai tambahan, orientasi gambaran juga dapat berpengaruh dalam proses penentuan kotak batas untuk perhitungan tinggi dan lebar objek.

Pengujian Dinamis

Pengujian deteksi objek dinamis, menggunakan dua skenario posisi objek dinamis yang berbeda-beda. Percobaan ini bertujuan untuk mengetahui performa kedua sensor dalam mendeteksi objek bergerak (dinamis). Kecepatan dari perubahan posisi objek dihitung dengan mengetahui jarak perpindahan dan waktu tempuh objek deteksi. Jumlah objek yang digunakan dalam pengujian ini yaitu sebanyak satu objek. Sama halnya dengan pengukuran objek statis, pengujian dilakukan selama 22 detik dengan *time delay* selama 7 detik pada awal percobaan atau sistem dinyalakan.

Mendeteksi objek yang bergerak menjauh berjarak 30 cm di depan kendaraan *ego*. Lalu kendaraan LCGC tersebut melaju kearah depan sejauh 60 cm selama 8 detik. Dengan itu, kecepatan yang dihasilkan objek deteksi LCGC tersebut adalah sebesar kurang lebih 3,75 cm/detik.

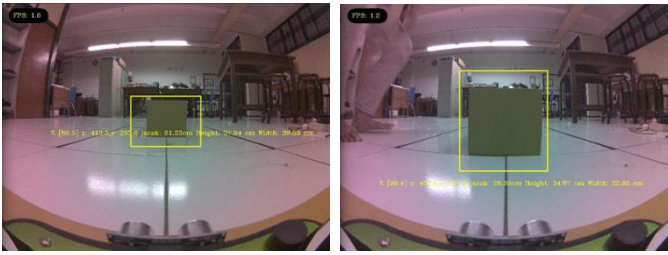


Gambar 14. Objek tunggal dinamis bergerak menjauh



Gambar 15. Pengukuran deteksi jarak objek dinamis menjauh

Pada kasus selanjutnya selanjutnya, objek LCGC diletakkan mula-mula berjarak 60 cm di depan kendaraan *ego*. Lalu kendaraan tersebut melaju mendekati dengan kecepatan yang sama dengan bergerak menjauh.



Gambar 16. Objek tunggal dinamis bergerak menjauh



Gambar 17. Pengukuran deteksi jarak objek dinamis mendekat

Performa deteksi objek pada kasus objek deteksi bergerak menjauh dan mendekat menunjukkan hasil yang serupa. Mendekat ataupun menjauhnya objek hanya akan memberikan perbedaan pada jarak yang dihasilkan oleh sensor ultrasonik sebagai sensor jarak. Namun dikarenakan mendeteksi objek yang bergerak menjadi kelemahan bagi sensor ultrasonik, maka noise yang tinggi pun terjadi. Tentunya hasil dari pengukuran jarak tersebut berdampak besar pada perhitungan lebar dan tinggi objek terdeteksi. Dengan itu, Semakin jauh objek maka akan menghasilkan error yang semakin tinggi, begitu juga sebaliknya.

B. KESIMPULAN

Penelitian ini menggunakan purwarupa kendaraan sistem otonom/autonomous car yaitu *Jatracer AI Car* dengan sistem tertanam berupa mini-PC *Jetson-Nano* sensor kamera IMX219-160, sensor ultrasonik HC-RS04. Deteksi objek menggunakan *Deep Neural*

Network Yolov4-tiny sebagai algoritma karena mampu mendeteksi lebih baik secara real time. Penggabungan kedua sensor mampu berjalan dengan baik, baik dalam kondisi mendeteksi objek diam (statis) maupun bergerak (dinamis). Beberapa kekurangan dari penelitian ini yakni, sensor ultrasonik HC-SR04 kurang baik dalam mendeteksi secara real time. Kemudian sensor kamera mempunyai distorsi yang besar sehingga pengukuran ketika bergerak menurunkan nilai akurasi. Oleh karena itu, dalam penelitian kedepannya diharapkan lebih memperhatikan *device* sensor yang lebih baik dalam mendeteksi lingkungan dalam kondisi apapun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. D. Saputra , “Studi Tingkat Kecelakaan Lalu Lintas Jalan di Indonesia Berdasarkan Data KNKT (Komite Nasional Keselamatan Transportasi) dari Tahun 2007-2016,” *Warta Penelitian Perhubungan* , vol. 29, no. 2, pp. 179-189, 2017.
- [2] Z. Wang , Y. Wu dan Q. Niu , “Multi-sensor Fusion in Automated Driving: A Survey,” *IEEE Access*, no. 4, pp. 1-22, 2019.
- [3] P. Wei , L. Cagle , T. Reza , J. Ball dan J. Gafford , “LiDAR and Camera Detection Fusion in a Real-Time Industrial,” *electronics* , pp. 1-31, 2018.
- [4] T.-Y. Lim, A. Ansari, B. Major, D. Fintijne, M. Hamilton, R. Gowaikar dan S. Subramanian, “Radar and Camera Early Fusion for Vehicle Detection in Advance Driver Assistance Systems,” dalam *33rd Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS 2019)*, Vancouver , 2019.
- [5] Y. Zhang , C. Song dan D. Zhang, “Deep Learning-based Object Detection Improvement for Tomato Disease,” *IEEE Access*, pp. 1-8, 2020.
- [6] Z. Jiang, L. Zhao, S. Li dan Y. Jia, “Real-time Object Detection Method for Embedded Devices,” *arXiv*, pp. 1-11, 2020.
- [7] Cytron Technologies , Product User's Manual - HC-RS04 Ultrasonic Sensor, Johor: Cytron Technologies Sdn. Bhd. , 2013.
- [8] Reno, “HC-SR04 test r0,” Mei 2013. [Online]. Available: <https://www.scribd.com/document/393553093/Hc-sr04-Tests-r0>.