

PENGARUH RESOLUSI VIDEO TERHADAP AKURASI MENGGUNAKAN ALGORITMA YOLOV4 DALAM DETEKSI CITRA OBJEK PADA CCTV

Firnanda Al Islama Achyunda Putra¹⁾, Jeffry Atur Firdaus¹⁾, Nadim Achmad¹⁾, Fitra Abdurrachman Bachtiar¹⁾, dan Novanto Yudistira¹⁾

¹⁾Program Studi Ilmu Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Jl. Veteran no. 8, Malang, Jawa Timur, Indonesia 65145

e-mail: firmandaaap@student.ub.ac.id¹⁾, jeffryaf@student.ub.ac.id¹⁾, achmadnadim@gmail.com¹⁾, fitra.bachtiar@ub.ac.id¹⁾, yudistira@ub.ac.id¹⁾

ABSTRACT

Closed-circuit television or commonly known as CCTV is a system used to monitor a location using a camera as the main device to capture images. CCTV usually has a low resolution because it can reduce usage costs. Video with low resolution has poor quality so that objects in the video are difficult to recognize by human observation. This study analyzes the performance of the YOLO 4.0 algorithm to recognize objects in a CCTV video in Malang with a low resolution of 144p to high, namely 4K. The results show that the Bounding Box detection of YOLO objects is directly proportional to the quality of CCTV resolution and the accuracy of the objects recognized by YOLO is directly proportional to the quality of CCTV resolution.

Keywords: YOLO, CCTV, vehicle detection, deep learning

ABSTRAK

Closed-circuit television atau yang biasa dikenal dengan CCTV merupakan sebuah sistem yang digunakan untuk mengawasi suatu lokasi menggunakan kamera sebagai perangkat utama untuk menangkap citra. CCTV biasanya memiliki resolusi yang rendah karena dapat mengurangi biaya penggunaan. Video dengan resolusi yang rendah memiliki kualitas yang kurang baik sehingga objek yang ada pada video sulit dikenali dengan pengamatan manusia. Penelitian ini menganalisis performa algoritma YOLO 4.0 untuk mengenali objek yang ada pada sebuah video CCTV pada kota Malang dengan resolusi rendah yaitu 144p hingga tinggi yaitu 4K. Hasil menunjukkan bahwa Bounding Box deteksi objek YOLO berbanding lurus dengan kualitas resolusi CCTV serta akurasi objek yang berhasil dikenali oleh YOLO berbanding lurus dengan kualitas resolusi CCTV.

Kata Kunci: YOLO, CCTV, deteksi kendaraan, pembelajaran dalam

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan 17.504 pulau dan luas negara mencapai 1.904.569 km². Pulau dengan kepadatan penduduk paling tinggi di negara Indonesia adalah pulau Jawa dengan jumlah penduduk mencapai 136.610.590 jiwa. Populasi di negara Indonesia terus berkembang seiring dengan meningkatnya angka kelahiran dan tingkat urbanisasi. Urbanisasi merupakan salah satu faktor yang mendukung perkembangan negara[1].

Malang adalah salah satu kota pada provinsi Jawa Timur yang memiliki julukan sebagai kota industri, wisata dan edukasi, sehingga kota Malang memiliki tingkat kepadatan penduduk yang terus meningkat diikuti dengan faktor volume kendaraan, kriminal dan tingkat kecelakaan yang ikut meningkat. Kota Malang merupakan salah satu daerah yang lahir berkat industrialisasi yang massal terjadi pada akhir abad ke-19 hingga awal abad ke-20[2].

Tindak kriminal merupakan perbuatan yang bertentangan dengan norma, agama dan hukum yang dapat merugikan dalam bentuk ekonomi maupun psikologis[3]. Tindak kriminal yang tinggi dipicu oleh beberapa faktor seperti tingkat pengangguran yang tinggi, pendapatan yang rendah, tempat tinggal di bawah standar, tingkat pendidikan yang rendah, dan faktor lainnya. Berdasarkan data statistik pada tahun 2014-2015 terjadi peningkatan tindak pidana kasus pencurian[4].

Smart City merupakan salah satu cara untuk mengurangi tingkat kriminalitas di suatu kota atau area. Dengan smart city kebutuhan kesehatan, transportasi, pendidikan dan keamanan lebih mudah ditingkatkan. Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi merupakan awal dari perkembangan smart city. Salah satu fitur smart city adalah integrasi CCTV. Studi pada kota Gwang Myeong pada negara Korea Selatan menunjukkan tingkat perampokan dan pencurian menurun sebanyak 47.4 % setelah dilakukan penerapan CCTV pada kota tersebut[5]. CCTV atau yang biasa dikenal dengan Closed-circuit television, merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk mengawasi lokasi tertentu menggunakan citra kamera[6]. CCTV memiliki banyak manfaat dan fungsi, antara lain sebagai pencegahan tindak kriminal, pemecahan masalah kriminal, pemantauan lalu lintas, pemantauan pejalan kaki, pengawasan pegawai, pengawasan sekolah, pengawasan rumah dan lainnya.

Penerapan CCTV untuk memantau lingkungan telah banyak diterapkan pada institusi. CCTV sebagai alat pengawas membantu memantau lingkungan secara real time sehingga meningkatkan keamanan, kenyamanan dan kenyamanan penduduk serta membantu penegak hukum untuk menangani kejahatan yang mungkin terjadi[7]. Namun pengawasan pada CCTV dianggap kurang efisien karena petugas harus mengawasi CCTV sepanjang waktu[8]. Sehingga diperlukan sebuah sistem yang dapat memantau CCTV secara real-time dan akurat. Sejauh ini Artificial Intelligence dapat digunakan untuk membantu petugas untuk mengawasi dan menganalisa CCTV. Salah satu metode AI dalam melakukan rekognisi citra adalah menggunakan algoritma YOLO. Algoritma YOLO menggunakan Jaringan Saraf Tiruan untuk mengenali objek dengan membimbing objek yang akan dideteksi[9].

CCTV dapat menangkap gambar dengan resolusi yang tinggi, namun untuk mengurangi biaya penggunaan pada CCTV, biasanya dilakukan penurunan kualitas video dengan cara mengecilkan resolusi pada video. Kualitas video yang rendah dapat mempersulit pengenalan objek oleh pengamatan manusia. Penelitian tentang deteksi objek telah banyak dilakukan. Terutama penelitian tentang deteksi objek yang menggunakan algoritma YOLO. Penelitian menggunakan algoritma YOLO dilakukan oleh [10] untuk mendeteksi jalan berlubang. Deteksi yang dihasilkan berupa 7 jenis tipe lubang. Akurasi yang didapatkan pada penelitian ini adalah 73.64%.

Penelitian lain tentang deteksi objek juga dilakukan oleh [11] yang membahas tentang efek dari berbagai macam aspek rasio terhadap akurasi deteksi. Algoritma yang digunakan pada penelitian tersebut adalah menggunakan YOLOv2 dan YOLOv3. Penelitian tersebut hanya digunakan untuk mendeteksi objek berupa pejalan kaki saja. Deteksi objek yang diterapkan pada halaman kampus dilakukan oleh [12] untuk mengetahui pejalan kaki. Pada penelitian ini membandingkan performa algoritma YOLOv1 sampai YOLOv3-tiny. Data yang digunakan adalah dataset COCO dan VOC. Dengan menggunakan YOLOv3-tiny diharapkan dapat mempercepat waktu komputasi.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, algoritma YOLOv1 sampai dengan YOLOv3 telah banyak digunakan untuk deteksi objek. Terdapat berbagai jenis objek yang dapat dideteksi dengan menggunakan algoritma YOLO. Algoritma terbaru dari YOLO adalah algoritma YOLOv4. Pada penelitian ini akan menganalisis performa algoritma YOLOv4 terhadap CCTV di Kota Malang. Pada penelitian ini digunakan cuplikan citra video yang diambil pada garis lintang dan bujur 7°56'31.6"S 112°38'31.5"E atau Kecamatan Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia pada 07 Desember 2020 Pukul 14.49 Sore. Video ini menampilkan lalu lintas Jalan Letjend S. Parman di ambil dari jembatan penyebrangan di Masjid Sabilillah. Objek yang diujikan pada penelitian ini terdiri dari beberapa jenis objek seperti manusia, sepeda motor, truck ataupun pejalan kaki. Dari berbagai macam objek akan diujikan seberapa akurat akurasi dari algoritma YOLOv4 yang digunakan untuk mendeteksi objek yang terdiri dari beberapa jenis.

Penulis akan menguji performa algoritma deteksi citra bernama YOLO (You Only Look Once) dalam mendeteksi objek pada dengan kualitas yang berbeda-beda. Resolusi yang digunakan pada penelitian ini adalah 4K, 2K, 1080p, 720p, 480p, 320p, 240p, dan 144p. Hasil dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh kualitas video terhadap akurasi YOLO dalam mengenali objek dan akurasi YOLO dalam melakukan pengenalan objek dalam citra.

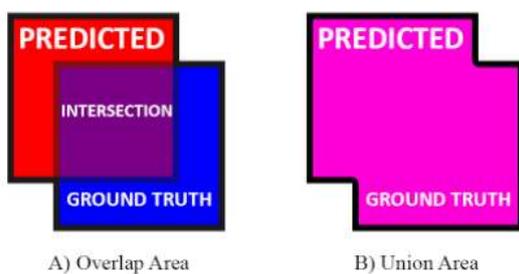
II. METODE PENELITIAN

A. Algoritma YOLO

Deteksi objek dapat dilakukan dengan berbagai macam algoritma. Deteksi objek dapat dilakukan dengan berbagai macam pendekatan seperti machine learning atau deep learning. Pendekatan machine

learning biasanya menggunakan ekstraksi fitur. Jenis biasanya dibagi menjadi dua kelompok utama berdasarkan bagaimana algoritma tersebut melakukan tugasnya. Kelompok pertama melakukan deteksi objek pada tampilan paling menonjol pada sebuah gambar, lalu melakukan klasifikasi objek pada area tersebut menggunakan *Convolutional Neural Networks* (CNN).

Deteksi objek, yang merupakan algoritma pembelajaran mesin yang dirancang untuk menemukan objek yang diinginkan dalam sebuah gambar atau video dan untuk mendeteksi posisi dan ukurannya, merupakan salah satu masalah sentral dalam computer vision saat ini. Ada dua arah utama: algoritma dua tahap seperti RCNN, fast-RCNN; algoritma satu tahap seperti YOLO, SSD[13]. Kelompok CNN menggunakan proses seperti R-CNN, biasanya memakan waktu yang cukup lama sehingga kurang cocok untuk diaplikasikan pada kondisi *real-time*. Algoritma pada kelompok kedua menggunakan metode regresi. Algoritma jenis regresi memindai seluruh bagian citra lalu Algoritma tersebut melakukan prediksi untuk membatasi, mengenali dan menggolongkan objek pada citra. Algoritma pada kelompok ini memiliki waktu pemrosesan yang lebih cepat dan cocok digunakan pada kondisi *real-time*, misalnya Algoritma *You Only Look Once* (YOLO)[14]. *You Only Look Once* (YOLO) merupakan algoritma deteksi objek menggunakan pendekatan *Artificial Neural Network* atau biasa dikenal dengan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dalam melakukan deteksi objek pada citra.



Gambar 1. Overlap Area dan Union Area

Jaringan Saraf Tiruan membagi citra masukan menjadi beberapa petak lalu melakukan prediksi pada tiap petak. Prediski YOLO pada citra dilakukan secara paralel yaitu prediksi bounding box + confidence dan prediksi probabilitas pada petak yang dibentuk. Hasil dari bounding box + confidence dan prediksi probabilitas digabungkan membentuk *bounding box* dan hasil klasifikasi pada citra[15]. Pada tiap bounding box algoritma YOLO terdiri dari 5 nilai yang di prediksi yaitu x, y, w, h, dan *confidence*. Dalam bounding box X dan Y adalah koordinat titik tengah objek yang dideteksi, W dan H adalah lebar dan tinggi dari titik tengah objek yang dideteksi, *confidence* adalah nilai dari tingkat keyakinan kategori objek yang dideteksi[16]. Persamaan untuk menghitung nilai confidence dapat diamati pada Persamaan 1.

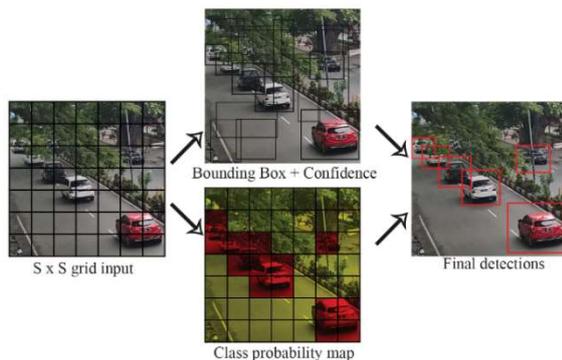
$$Confidence = Predicted(Object) * IOU_{predicted}^{truth} \quad (1)$$

Pada persamaan 1, IOU merupakan singkatan dari *Intersection Over Union*, yaitu merupakan kalkulasi (pecahan diantara 0 dan 1) dari gabungan dua buah bounding box. *Overlap area* merupakan *Intersection* atau titik potong merupakan area pertemuan antara prediksi dari *bounding box* dengan *ground truth* (objek). Sedangkan *Union area* merupakan total bidang antara prediksi dari *bounding box* dengan *ground truth*. *Overlap area* dan *Union area* dapat diamati pada **Error! Reference source not found.**[17]. Deteksi sistem dengan akurasi yang tinggi memiliki nilai IOU yang mendekati angka 1, karena prediksi *bounding box* yang mendekati dengan *ground truth*. Persamaan *Intersection Over Union* atau IOU dapat diamati pada Persamaan 2[18].

$$IOU = \frac{Area\ of\ Overlap}{Area\ of\ Union} \quad (2)$$

Proses deteksi YOLO dilakukan dengan melakukan tahapan-tahapan penting[19].Pertama Algoritma YOLO memecah citra masukan menjadi petak-petak sebanyak S x S grid. Masing-masing petak memiliki tugas untuk melakukan deteksi objek pada luas areanya.Kedua,Setiap petak grid melakukan prediksi bounding box. Tiap bounding box memiliki nilai confidence rate untuk mengetahui presentase prediksi algoritma dalam bounding box mendeteksi sebuah objek. Pada

prediksi confidence digunakan persamaan (2). Jika tidak ada objek pada bounding box, maka nilai confidence akan



Gambar 2. Pemodelan algoritma YOLO

mendekati 0. Selain itu jika IOU antara predicted dengan ground truth mendekati 1, dapat dipastikan ada objek pada bounding box tersebut. Selain itu pada tahap ini YOLO juga melakukan prediksi kelas. Prediksi kelas dilakukan pada petak yang mengandung objek. Tahap terakhir dikalikan nilai probabilitas pada prediksi kelas dengan nilai confidence bounding box. Perkalian ini menghasilkan bounding box dengan kelas yang tampil pada hasil akhir deteksi YOLO. Tahap-tahap model YOLO dalam deteksi citra dapat diamati pada Gambar 2

YOLOv4 terdapat pengembangan dari versi sebelumnya YOLOv3 sebesar 10 % AP lebih tinggi dan 12 % FPS lebih tinggi. Ada tiga pengembangan utama pada YOLOv4 dari versi sebelumnya. Pada YOLOv4 dikembangkan metode yang efisien dan manjur dalam model deteksi objek. Pada YOLOv4 diuji pengaruh dari metode *state-of-the-art*, *Bag-of-Freebies* dan *Bag-of-Specials* dalam deteksi objek. Dan pada YOLOv4 dilakukan modifikasi pada metode *state-of-the-art* supaya menjadi lebih efisien dalam penggunaan GPU tunggal dengan meliputi CBN, PAN, SAM, dan lainnya. Hasil dari penelitian tersebut menghasilkan YOLOv4 dengan arsitektur Backbone menggunakan CSPDarknet53, Neck menggunakan SPP, PAN dan Head menggunakan YOLOv3 [20].

Fitur-fitur yang diterapkan pada YOLOv4 adalah Bag of Freebies (BoF) untuk backbone: CutMix and Mosaic data augmentation, DropBlock regularization, Class label smoothing. Selanjutnya adalah fitur Bag of Specials (BoS) untuk backbone: Mish activation, Cross-stage partial connections (CSP), Multi-input weighted residual connections (MiWRC). Fitur selanjutnya Bag of Freebies (BoF) untuk detector: CIoU-loss, CmBN, DropBlock regularization, Mosaic data augmentation, Self-Adversarial Training, Eliminate grid sensitivity, Using multiple anchors for a single ground truth, Cosine annealing scheduler, Optimal hyper-parameters, Random training shapes. Fitur yang terakhir adalah Bag of Specials (BoS) untuk detector: Mish activation, SPP-block, SAM-block, PAN path-aggregation block, DIOU-NMS.

Algoritma YOLOv4 dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis objek. Data uji pada penelitian ini berupa gambar yang dihasilkan dari kamera dan dilakukan *pre-processing* dengan merubah ukuran dari gambar tersebut. Objek yang dapat di deteksi pada penelitian ini tidak terbatas karena data latih yang kami gunakan adalah data latih MSCOCO. Dataset MSCOCO terdiri dari 1.5 juta instance objek, 330 ribu gambar, 200 ribu label dan 80 kategori objek.

B. Analisa Visual

Analisa Visual menjelaskan tentang tata cara pengambilan data testing. Data uji diambil dengan cara manual. Data uji yang diujikan adalah data yang berada di wilayah malang. Dari deteksi yang dihasilkan oleh algoritma YOLOv4 dapat dilihat bahwa bounding box memiliki performa yang bagus pada resolusi yang tinggi. Berdasarkan pengujian, terdapat perbedaan akurasi terhadap resolusi gambar pada deteksi objek menggunakan algoritma YOLOv4.

C. Pengambilan data uji



Gambar 3. Cuplikan Video

Deteksi citra objek diuji pada delapan cuplikan video, video ini diambil pada Kecamatan Blimbing, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia pada 07 Desember 2020 Pukul 14.49 Sore. Video ini menampilkan lalu lintas Jalan Letjend S. Parman di ambil dari jembatan penyebrangan di Masjid Sabilillah. Cuplikan video dapat diamati pada Gambar 3. Video pada penelitian ini berasal dari satu file utama berukuran 3480x2160 pixel yang diambil cuplikan sebagai sampel. Sampel cuplikan citra kemudian di render tujuh kali dengan resolusi dan yang lebih rendah, sehingga menghasilkan total delapan video yang berbeda. Spesifikasi dan resolusi sampel cuplikan penelitian ini dapat diamati pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 1. Spesifikasi Video

Video	Resolusi	Tinggi Pixel	Lebar Pixel
1	4K	3840	2160
2	2K	2560	1440
3	1080p	1920	1080
4	720p	1280	720
5	480p	854	480
6	320p	640	320
7	240p	426	240
8	144p	256	144

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Algoritma YOLO memiliki tingkat performa terbaik berbanding lurus dengan resolusi gambar yang di deteksi. Visualisasi analisis menjelaskan tentang perbedaan hasil dari deteksi terhadap berbagai macam variasi resolusi video. Hasil analisis visual dapat diamati pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis Visual



(a) Resolusi 4K



(b) Resolusi 2K



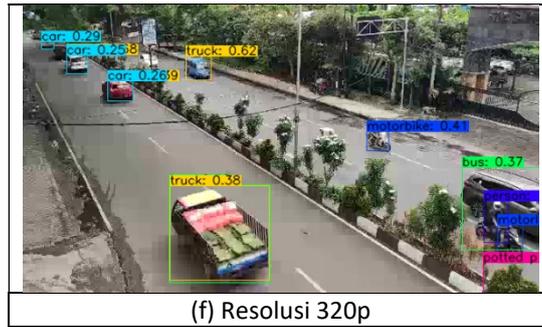
(c) Resolusi 1080p



(d) Resolusi 720p



(e) Resolusi 480p



Terdapat perbandingan hasil akurasi secara visual dari berbagai macam resolusi yang diujikan. Semakin besar nilai piksel maka semakin besar pula tingkat akurasi yang didapatkan algoritme YOLO. Hal ini dikarenakan piksel yang dapat di proses oleh algoritma cenderung lebih detail dan lebih mudah untuk di deteksi. Delapan sampel cuplikan citra tersebut kemudian diproses menggunakan algoritma YOLO untuk dilakukan deteksi objek. Hasil rekognisi citra YOLO kemudian diuji akurasi menggunakan pengujian *Bounding Box*. Persamaan akurasi *Bounding Box* dapat diamati pada Persamaan 3.

$$Bounding\ Box = \frac{truePositive - trueNegat}{Sampel\ Data} \quad (3)$$

Hasil akurasi pengujian *Bounding Box* dari seluruh sampel cuplikan gambar dapat diamati pada **Error! Reference source not found.** Dari hasil rekognisi YOLO kemudian dilakukan pengujian akurasi klasifikasi YOLO dalam merekognisi jenis objek yang ada pada sampel cuplikan citra. Hasil pengujian berupa akurasi deteksi yaitu objek yang berhasil dikenali dengan klasifikasi yang benar dan error yaitu objek yang gagal di deteksi secara benar. Hasil pengujian akurasi dapat diamati pada **Error! Reference source not found.**

Tabel 5. Pengujian Klasifika-

si

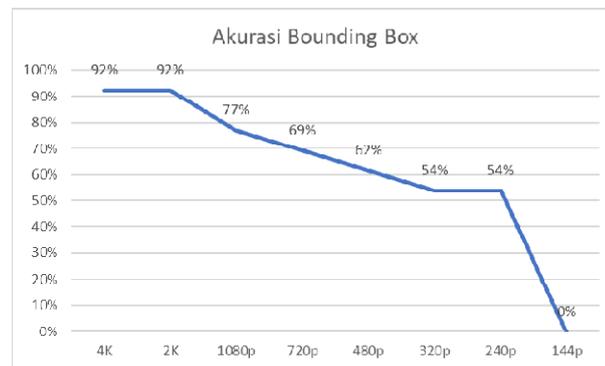
Video	Resolusi	Akurasi	Error
1	4K	100%	0%
2	2K	100%	0%
3	1080p	100%	0%
4	720p	78%	22%
5	480p	75%	25%
6	320p	71%	29%
7	240p	71%	29%

Tabel 6. Pengujian Bounding

Box

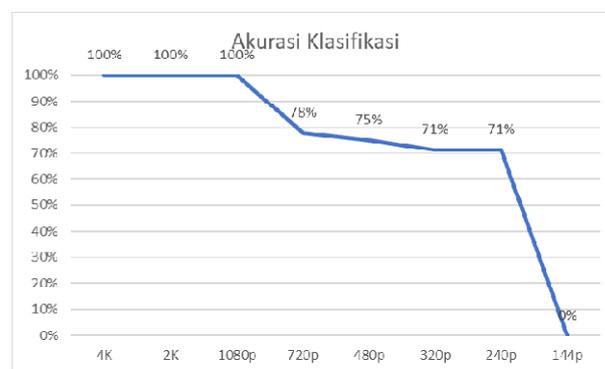
Video	Resolusi	Akurasi Bounding Box
1	4K	92%
2	2K	92%
3	1080p	77%
4	720p	69%
5	480p	62%
6	320p	54%
7	240p	54%
8	144p	0%

Berdasarkan pada pengujian dan analisis yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa akurasi Bounding Box deteksi objek YOLO dengan berbanding lurus dengan kualitas resolusi CCTV seperti pada Tabel 6. Akurasi Bounding Box deteksi objek YOLO paling baik didapatkan pada video dengan resolusi 4K dengan akurasi hingga 92% dan akurasi paling buruk didapatkan pada video dengan resolusi 144p karena YOLO tidak dapat melakukan deteksi gambar. Grafik pengujian Bounding Box Dapat diamati pada Gambar 4



Gambar 4. Pengujian Bounding Box

Akurasi objek yang berhasil dikenali oleh YOLO berbanding lurus dengan kualitas resolusi CCTV. Akurasi pengenalan objek citra YOLO paling akurat didapatkan pada video dengan resolusi 4K dengan akurasi 100% dan Akurasi pengenalan objek citra YOLO paling buruk didapatkan pada video dengan resolusi 240p dengan akurasi 71%. Grafik pengujian klasifikasi Dapat diamati pada Gambar 5.



Gambar 5. Pengujian Klasifikasi

IV. KESIMPULAN

Grafik pengujian pada algoritma YOLO 4.0 menunjukkan adanya korelasi antara resolusi dengan akurasi klasifikasi dan bounding box, grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi resolusi maka hasil akurasi klasifikasi dan bounding box semakin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. O. A. Rahman, M. C. Saputra, F. K. Wicaksono, F. A. Bachtiar, and F. Ramdani, "Voronoi diagram: Split nodes analysis of road networks of Malang great area," *2017 Int. Symp. Geoinformatics, ISyG 2017*, vol. 2018-January, pp. 42–47, 2018.
- [2] W. M. Saffanah, "Industrialisasi Dan Berkembangnya Kota Malang Pada Awal Abad ke-20," *Agastya J. Sej. Dan Pembelajarannya*, vol. 8, no. 2, p. 167, 2018.
- [3] W. Yimyam, T. Pinthong, N. Chumuang, and M. Ketcham, "Face Detection Criminals through CCTV Cameras," *Proc. - 14th Int. Conf. Signal Image Technol. Internet Based Syst. SITIS 2018*, pp. 351–357, 2018.
- [4] C. Nelasari, F. Ramdani, F. Wahabi, S. A. Wicaksono, H. A. Y. Ifada, and M. C. Saputra, "Crime and traffic accident mapping based on street profile analysis method: Case study malang and Batu city," *2017 Int. Symp. Geoinformatics, ISyG 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 34–41, 2018.
- [5] A. Pribadi, F. Kurniawan, M. Hariadi, and S. M. S. Nugroho, "Urban distribution CCTV for Smart City using decision tree methods," *2017 Int. Semin. Intell. Technol. Its Appl. Strength. Link Between Univ. Res. Ind. to Support ASEAN Energy Sect. ISITIA 2017 - Proceeding*, vol. 2017-Janua, pp. 21–24, 2017.
- [6] M. Fraifer and M. Fernstrom, "Smart car parking system prototype utilizing CCTV nodes: A proof of concept prototype of a novel approach towards IoT-concept based smart parking," *2016 IEEE 3rd World Forum Internet Things, WF-IoT 2016*, pp. 649–654, 2017.
- [7] I. A. Dahlan, F. Hamami, S. H. Supangkat, and F. Hidayat, "Big Data Implementation of Smart Rapid Transit using CCTV Surveillance," *Proceeding - 2019 Int. Conf. ICT Smart Soc. Innov. Transform. Towar. Smart Reg. ICISS 2019*, pp. 1–5, 2019.
- [8] F. D. Adhinata, M. Ikhsan, and W. Wahyono, "People counter on CCTV video using histogram of oriented gradient and Kalman filter methods," *J. Teknol. dan Sist. Komput.*, vol. 8, no. 3, pp. 222–227, 2020.
- [9] D. P. Lestari, R. Kosasih, T. Handhika, Murni, I. Sari, and A. Fahrurrozi, "Fire Hotspots Detection System on CCTV Videos Using You only Look Once (YOLO) Method and Tiny YOLO Model for High Buildings Evacuation," *Proc. - 2019 2nd Int. Conf. Comput. Informatics Eng. Artif. Intell. Roles Ind. Revolut. 4.0, IC2IE 2019*, pp. 87–92, 2019.
- [10] Y. Du, N. Pan, Z. Xu, F. Deng, Y. Shen, and H. Kang, "Pavement distress detection and classification based on YOLO network," *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 0, no. 0, pp. 1–14, 2020.
- [11] W. Y. Hsu and W. Y. Lin, "Ratio-and-Scale-Aware YOLO for Pedestrian Detection," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 30, pp. 934–947, 2021.
- [12] P. Adarsh, P. Rathi, and M. Kumar, "YOLO v3-Tiny: Object Detection and Recognition using one stage improved model," *2020 6th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Syst. ICACCS 2020*, pp. 687–694, 2020.
- [13] H. Wang, X. Tong, and F. Lu, "Deep learning based target detection algorithm for motion capture applications," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1682, no. 1, 2020.
- [14] R. A. Asmara, B. Syahputro, D. Supriyanto, and A. N. Handayani, "Prediction of traffic density using yolo object detection and implemented in raspberry pi 3b + and intel ncs 2," *4th Int. Conf. Vocat. Educ. Training, ICOVET 2020*, pp. 391–395, 2020.
- [15] S. Jupiyandi *et al.*, "Pengembangan Deteksi Citra Mobil Untuk Mengetahui Jumlah Tempat Parkir Menggunakan Cuda Dan Modified Yolo Development of Car Image Detection To Find Out the Number of Parking Space Using Cuda and Modified Yolo," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 6, no. 4, pp. 413–419, 2019.
- [16] W. Li, Z. Shen, and P. Li, "Crack Detection of Track Plate Based on YOLO," *Proc. - 2019 12th Int. Symp. Comput. Intell. Des. Isc. 2019*, pp. 15–18, 2019.
- [17] M. B. Ullah, "CPU Based YOLO: A Real Time Object Detection Algorithm," *2020 IEEE Reg. 10 Symp. TENSYP 2020*, no. June, pp. 552–555, 2020.
- [18] J. P. Lin and M. Te Sun, "A YOLO-Based Traffic Counting System," *Proc. - 2018 Conf. Technol. Appl. Artif. Intell. TAAI 2018*, pp. 82–85, 2018.
- [19] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection."
- [20] A. Bochkovskiy, C. Y. Wang, and H. Y. M. Liao, "YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection," *arXiv*, 2020.