

ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA ALGORITME OBJECT DETECTION BERBASIS *DEEP LEARNING* PADA PERANGKAT KOMPUTASI TERBATAS (Studi Kasus: Deteksi Kelainan Daun Tanaman Melon)

HANIF RAHMAT



**ILMU KOMPUTER
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2021**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis berjudul Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme *Object Detection* Berbasis *Deep Learning* pada Perangkat Komputasi Terbatas (Studi Kasus: Deteksi Kelainan Daun Tanaman Melon) adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Maret 2021

Hanif Rahmat
NIM G651180051

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



RINGKASAN

HANIF RAHMAT. Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme *Object Detection* Berbasis *Deep Learning* pada Perangkat Komputasi Terbatas (Studi Kasus: Deteksi Kelainan Daun Tanaman Melon). Dibimbing oleh SRI WAHJUNI dan HENDRA RAHMAWAN.

Object detection merupakan salah satu metode dalam *computer vision* untuk mengidentifikasi kelas dan lokasi objek pada suatu gambar. Dibandingkan dengan pendekatan tradisional, metode *object detection* menggunakan pendekatan *deep learning* memiliki kinerja yang lebih baik secara signifikan terutama dalam hal akurasi dan presisi. Akan tetapi, metode *deep learning* ini menghasilkan waktu komputasi yang tinggi dan pemakaian memori yang lebih besar. Kedua hal tersebut, yaitu akurasi dan kecepatan komputasi, menjadi *trade off* dalam implementasi algoritme *deep learning* pada perangkat yang memiliki kemampuan komputasi terbatas seperti Raspberry Pi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis perbandingan terhadap beberapa algoritme *object detection* berbasis *deep learning* pada salah satu perangkat dengan kemampuan komputasi terbatas yaitu Raspberry Pi.

Penelitian ini merupakan salah satu rangkaian riset pengembangan robot pengawasan (*surveillance robot*) untuk tanaman melon (*Cucumis melo* L.). Deteksi kelainan pada daun tanaman yang dilakukan oleh robot mengandalkan citra yang diambil melalui kamera yang dipasang pada robot. Sehingga, penerapan metode *object detection* diperlukan untuk pengembangan robot. Adapun kontribusi penelitian ini adalah merekomendasikan algoritme *object detection* berbasis *deep learning* yang optimal untuk ditanamkan pada robot pengawasan berdasarkan aspek akurasi dan kecepatan komputasi.

Pada penelitian ini, kelas objek yang dideteksi dibagi menjadi dua kategori yaitu abnormal dan normal. Adapun algoritme *object detection* yang dianalisis pada penelitian ini adalah Faster R-CNN, SSD, dan YOLOv3. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai mAP berbanding lurus dengan waktu komputasi algoritme, yakni semakin tinggi nilai mAP maka semakin lama waktu komputasi yang dibutuhkan. Faster R-CNN memiliki nilai mAP tertinggi yaitu ~49% dengan *inference time* selama ~2,5 detik dan penggunaan sumber daya yang paling banyak. Faster R-CNN dapat digunakan untuk proses *object detection* pada kasus dengan kebutuhan akurasi yang tinggi namun dapat mengabaikan kecepatan komputasi. Selain memiliki *inference time* yang cukup cepat (2 detik) dan penggunaan sumber daya yang paling kecil (CPU 48,5% dan RSS 551 MiB), SSD MobileNetV2 menghasilkan mAP yang dapat dipertimbangkan (33,16%) sehingga dapat direkomendasikan untuk proses *object detection* secara *realtime*. Adapun YOLOv3, meskipun memiliki *inference time* paling cepat (0,5 detik), tetapi memiliki nilai mAP yang sangat rendah (di bawah 20%). Sehingga, YOLOv3 tidak direkomendasikan karena akan membuat lebih banyak kesalahan deteksi.

Kata kunci: *Cucumis melo* L., *deep learning*, melon, *object detection*, perangkat komputasi terbatas, Raspberry Pi.

SUMMARY

HANIF RAHMAT. Comparative Analysis of Deep-Learning-Based Object Detection Algorithms Performance on Limited Computing Device (Case Study: Melon Leaves' Abnormality Detection). Supervised by SRI WAHJUNI and HENDRA RAHMAWAN.

Object detection is a technique in computer vision field to identify an object class and localize it in an image. Object detection with deep learning has significantly better accuracy than the traditional one. However, deep learning based approach leads to high computational and storage resources. Those speed and accuracy are become tradeoff to deal with its implementation on devices with limited computing capabilities such as Raspberry Pi. Therefore, this study aims to comparatively analyze deep-learning-based object detection algorithms' performance which are implemented on limited computing device, namely Raspberry Pi.

This research is continuous research on surveillance robot development for melon (*Cucumis melo* L.) plant. The robot will detect abnormal leaves relying on a mounted camera. Thus, it is important to apply an object detection technique for the robot development. The results of this study will help to consider the best object detection algorithm in terms of speed/accuracy tradeoff to be embedded on the surveillance robot.

In this study, the detected objects are classified in two categories, abnormal and normal. The algorithms which will be discussed in this study are Faster R-CNN with InceptionV2 and ResNet50 as backbone, Single Shot Multibox Detection (SSD) with InceptionV2 and MobileNetV2 as backbone, and YOLOv3 with backbone Darknet53.

The results showed that the mean average precision (mAP) value is directly proportional to the running time, that is, the algorithm with higher mAP requires longer running time. Faster R-CNN had the highest mAP (~49 %) that run ~2.5 seconds for an image, yet with highest resources usage. Considering the accuracy, Faster R-CNN can be recommended as the best object detection algorithm in case that accuracy is more important than time complexity such as melon leaf abnormality detection. In this case, for realtime detection such as on video, SSD MobileNetV2 can be considered as a fast algorithm with considerable mAP (33.16%) which can be implemented on limited computing devices such as Raspberry Pi. Although YOLOv3 had significantly better running time (0.5 s) which made YOLOv3 the fastest algorithm discussed here, it had too low mAP which was below 20%. Therefore, in this case YOLOv3 is not recommended to be used for melon leaf abnormality detection since it would lead to make more detection errors.

Keywords: *Cucumis melo* L., deep learning, limited computing device, melon, object detection, Raspberry Pi.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2021

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB

**ANALISIS PERBANDINGAN KINERJA ALGORITME
OBJECT DETECTION BERBASIS *DEEP LEARNING* PADA
PERANGKAT KOMPUTASI TERBATAS
(Studi Kasus: Deteksi Kelainan Daun Tanaman Melon)**

HANIF RAHMAT

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Ilmu Komputer pada
Program Studi Ilmu Komputer

**ILMU KOMPUTER
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2021**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Judul Tesis : Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme *Object Detection*
Berbasis *Deep Learning* pada Perangkat Komputasi Terbatas (Studi
Kasus: Deteksi Kelainan Daun Tanaman Melon)

Nama : Hanif Rahmat

NIM : G651180051

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Ir. Sri Wahjuni, M.T.



Pembimbing 2:

Dr. Hendra Rahmawan, S.Kom., M.T.



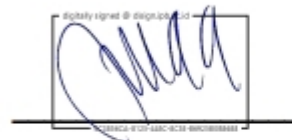
Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Imas Sukaesih Sitanggang, S.Si., M.Kom.
197501301998022001

Dekan Sekolah Pascasarjana:

Prof. Dr. Ir. Anas Miftah Fauzi, M.Sc.
196004191985031002



Tanggal Ujian : 27 Januari 2021

Tanggal Lulus :

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah *subhanahu wa ta'ala* atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Februari 2020 ini ialah *deep learning*, dengan judul Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme *Object Detection* Berbasis *Deep Learning* pada Perangkat Komputasi Terbatas (Studi Kasus: Deteksi Kelainan Daun Tanaman Melon).

Terima kasih penulis haturkan terutama kepada kedua orang tua penulis Ibunda Yayah Juhaeriyah dan Ayahanda Udin Shofiyudin yang senantiasa mendoakan untuk kelancaran penelitian ini. Selanjutnya dengan ketulusan hati penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr Ir Sri Wahjuni, MT dan Bapak Dr Hendra Rahmawan, SKom, MT selaku komisi pembimbing yang telah berkenan membimbing serta memberikan arahan, saran, dan solusi selama pelaksanaan penelitian.
2. Prof. Dr. Ir. Agus Bueno, M.Si., M.Kom. selaku penguji yang telah memberikan masukan untuk perbaikan karya ilmiah ini.
3. Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) yang telah membantu penulis dalam menyediakan fasilitas untuk kelancaran penelitian ini.
4. Seluruh staf pengajar dan tenaga kependidikan Departemen Ilmu Komputer IPB.
5. Ayah dan Ibu penulis yang senantiasa mendoakan dan memberi dukungan untuk kelancaran dan keberkahan studi penulis.

Semoga Allah *subhanahu wa ta'ala* membalas segala kebaikan dengan balasan yang sebaik-baiknya, serta memberikan manfaat yang seluas-luasnya melalui karya ilmiah ini.

Bogor, Januari 2021

Hanif Rahmat

DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 <i>Object Detection</i> dengan <i>Deep Learning</i>	4
2.2 Raspberry Pi	16
2.3 Kelainan Daun Tanaman Melon	17
III METODE	18
3.1 Data dan Area Studi	18
3.2 Tahapan Penelitian	18
3.3 Akuisisi Data	18
3.4 Anotasi Data	18
3.5 Pelatihan Model	19
3.6 Evaluasi Model	19
3.7 Implementasi pada Raspberry Pi	23
3.8 Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme	23
3.9 Peralatan Penelitian	23
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	24
4.1 Akuisisi Data	24
4.2 Anotasi Data	24
4.3 Pelatihan Model	28
4.4 Evaluasi Model	32
4.5 Implementasi pada Raspberry Pi	34
4.6 Analisis Perbandingan Kinerja Algoritme	35
4.7 Hasil Deteksi	39
V SIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Simpulan	48
5.2 Saran	48
DAFTAR PUSTAKA	49

DAFTAR TABEL

1	Perbandingan kinerja R-CNN, Fast R-CNN, dan Faster R-CNN	8
2	Darknet-19	12
3	Darknet-53	13
4	Beberapa <i>paper</i> tentang penelitian terkait	16
5	Hama/penyakit pada tanaman melon	25
6	Defisiensi nutrisi pada tanaman melon	25
7	Contoh konten <i>file</i> CSV	28
8	Ukuran <i>anchor</i> untuk Faster R-CNN	28
9	Skala untuk <i>default box</i> pada <i>feature map layers</i>	29
10	Skala lebar dan tinggi <i>default box</i>	29
11	Konfigurasi parameter	31
12	Nilai AP dan mAP masing-masing metode	33
13	Nilai mAP dan <i>inference time</i> masing-masing algoritme	36
14	Penggunaan maksimum CPU dan RSS	39

DAFTAR GAMBAR

1	<i>Two-stage object detection</i>	4
2	Alur R-CNN	5
3	Alur Fast R-CNN	6
4	RoI <i>pooling</i>	6
5	Alur Faster R-CNN	7
6	<i>Region Proposal Network</i> (RPN)	8
7	Model YOLO	9
8	Arsitektur YOLO	9
9	<i>Clustering box dimensions</i> pada VOC dan COCO (a) grafik jumlah <i>cluster</i> terhadap rata-rata IoU dan (b) sentroid dengan 5 <i>cluster</i> untuk VOC dan COCO	11
10	<i>Framework SSD</i> . (a) Gambar dengan GT <i>box</i> , (b) 8×8 <i>feature map</i> , dan (c) 4×4 <i>feature map</i>	14
11	Struktur jaringan SSD	15
12	Tahapan penelitian	18
13	Plot <i>precision</i> terhadap <i>recall</i>	22
14	<i>Interpolated precision</i>	22
15	Contoh tangkapan kamera (a) dari depan dengan jarak 70 cm dari tempat tanam, (b) jarak lebih dekat, (c) dari atas, dan (d) dari samping	24
16	Contoh daun (a) abnormal dan (b) normal	27
17	Proses anotasi data menggunakan <i>labelImg</i>	27
18	Contoh data citra (a) sebelum dilakukan augmentasi dan (b) setelah dilakukan augmentasi <i>horizontal flip</i>	30
19	Perbandingan mAP masing-masing algoritme	34

20	Perbandingan <i>inference time</i> masing-masing algoritme	36
21	<i>Scatter plot</i> mAP terhadap <i>inference time</i>	37
22	Penggunaan memori	38
23	Penggunaan CPU	38
24	Citra untuk contoh deteksi	40
25	Citra daun dengan <i>ground truth box</i>	40
26	Contoh deteksi Faster R-CNN InceptionV2 (IOU untuk NMS = 0,6)	41
27	Contoh deteksi Faster R-CNN InceptionV2 (IOU untuk NMS = 0,4)	41
28	Contoh deteksi Faster R-CNN InceptionV2 (IOU untuk NMS = 0,2)	42
29	Contoh deteksi Faster R-CNN ResNet50 (IOU untuk NMS = 0,6)	42
30	Contoh deteksi Faster R-CNN ResNet50 (IOU untuk NMS = 0,4)	43
31	Contoh deteksi Faster R-CNN ResNet50 (IOU untuk NMS = 0,2)	43
32	Contoh deteksi SSD InceptionV2 (IOU untuk NMS = 0,6)	44
33	Contoh deteksi SSD InceptionV2 (IOU untuk NMS = 0,4)	44
34	Contoh deteksi SSD InceptionV2 (IOU untuk NMS = 0,2)	45
35	Contoh deteksi SSD MobileNetV2 (IOU untuk NMS = 0,6)	45
36	Contoh deteksi SSD MobileNetV2 (IOU untuk NMS = 0,4)	46
37	Contoh deteksi SSD MobileNetV2 (IOU untuk NMS = 0,2)	46
38	Contoh deteksi YOLOv3 (IOU untuk NMS = 0,6)	47
39	Contoh deteksi YOLOv3 (IOU untuk NMS = 0,4)	47
40	Contoh deteksi YOLOv3 (IOU untuk NMS = 0,2)	48

DAFTAR LAMPIRAN

1	Skrip untuk <i>bounding box clustering</i>	54
2	Raspberry Pi 4 Model B	57
3	Kamera Raspberry Pi Rev 1.3	57
4	<i>Setup</i> alat akuisisi data tampak atas	57
5	<i>Setup</i> alat akuisisi data tampak keseluruhan	58
6	Penggunaan layanan HPC LIPI	58
7	Bekerja pada node GPU secara interaktif di HPC LIPI	60
8	Instalasi package dan TensorFlow <i>Object Detection</i> API	61
9	Pelatihan model <i>object detection</i>	63
10	Ukuran <i>file</i>	66
11	Aplikasi <i>object detection</i> untuk deteksi kelainan daun melon	67



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.