

Perbandingan Performa Jetson Nano, Jetson Xavier NX dan Lenovo Legion 5 terhadap Penggunaan YOLOv7

1st Mukhamad Zidni Ilman

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

zidnibinwakhidin@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Ledy Novamizanti

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

ledyaldn@telkomuniversity.ac.id

3rd Fityanul Akhyar

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Bandung, Indonesia

fityanul@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Akurasi tinggi dan performa merupakan hal yang penting dalam penerapan *deep learning*. Untuk mendapatkan hal tersebut, memerlukan adanya *hardware* yang mumpuni dalam bidang *deep learning*. GPU merupakan *hardware* yang paling berpengaruh pada hasil akurasi *deep learning*. Namun, GPU memerlukan biaya dan konsumsi daya yang tidak sedikit untuk menjalankan sebuah *platform* dengan performa tinggi. Dalam penelitian ini ada tiga perangkat komputer yang diuji performanya melalui algoritma YOLOv7 yaitu, Jetson Xavier NX, Jetson Nano, dan laptop Legion dengan GPU Nvidia Geforce GTX1650TI. Perangkat komputer ini, sudah pernah digunakan dalam pengujian *object detection* di beberapa penelitian yang sudah dilakukan. Pengujian ini menggunakan dataset gambar yang sebelumnya berupa video lobster penangkaran Aruna Indonesia di Pantai Amed, Bali. Hasil pendeteksian lobster dapat lebih maksimal lagi apabila video dataset yang tersedia tidak bergerak atau kameranya tetap di tempat. Sementara ini, YOLOv7 merupakan pendeteksi objek yang paling unggul dari semua pendeteksi objek yang dikenal. Kualitas kecepatan dan akurasi yang dimiliki YOLOv7 bisa mencapai 5 FPS hingga 120 FPS dan memiliki akurasi tertinggi 56,8% AP pada mAP.5-.95 diantara semua pendeteksi objek *real-time* yang ada dengan sekitar 30 FPS lebih tinggi pada GPU V100.

Kata kunci— Akurasi tinggi, performa, FPS, AP, YOLOv7, GPU.

I. PENDAHULUAN

Deep learning merupakan teknik yang menggunakan banyak layer nonlinier tersembunyi untuk ekstraksi fitur, transformasi, analisis pola, dan klasifikasi terawasi/tidak terawasi, di mana setiap lapisan berikutnya menggunakan keluaran lapisan sebelumnya sebagai masukan [1]. Salah satu keahlian khusus yang ditangani dengan deep learning adalah pendeteksian objek secara *real-time*. Dalam pendeteksian objek *real-time*, deep learning yang saat ini dipercaya sebagai algoritma dengan akurasi paling tinggi yaitu YOLO [2]. Model YOLO [3] yang performanya stabil saat ini adalah YOLOv7 [4]. YOLOv7 diklaim memiliki tingkat akurasi

yang lebih tinggi dari semua pendeteksi objek *real-time* yang ada saat ini. Versi ini pertama rilis dan siap digunakan pada juni 2022. Walaupun saat ini Ultralytics telah merilis YOLOv8, namun versi ini masih dalam tahap pengembangan [5]. Sehingga, penggunaan YOLOv8 masih belum stabil.

Melalui perkembangannya yang terus menerus, komputer telah menjadi perangkat yang dapat kita gunakan hampir tanpa batasan sejak penemuannya hingga saat ini. Ketika komputer datang, mereka cukup besar untuk mengisi ruangan dan menawarkan kemampuan untuk menjalankan berbagai aplikasi sambil meningkatkan kekuatan pemrosesan dan pas di telapak tangan Anda. Dalam beberapa aplikasi, komputer yang mempunyai spesifikasi tinggi adalah komputer yang mahal dan berat secara fisik. Solusi dari masalah ini adalah komputer kecil, portabel, terjangkau, dan kuat dengan jumlah fungsi yang relatif besar. Dalam kasus seperti itu, komputer *single-disk* lebih disukai. Komputer *single-board* adalah komputer yang dirancang pada *board* dengan sirkuit tercetak tunggal dan memiliki mikroprosesor, memori, input/output, dan fitur fungsional lainnya [6]. Sistem komputer *single-board* dengan kemampuan beradaptasi yang baik dan biaya rendah seringkali menjadi pilihan pertama karena dapat diintegrasikan dengan bidang teknologi lainnya [7]. Perkembangan teknologi komputasi *single-disk* dan pendekatannya terhadap kinerja komputer pribadi meningkatkan penggunaannya di bidang kecerdasan buatan. Demikian pula, fakta bahwa beberapa komputer desktop menghosting CPU dan GPU telah meningkatkan penerapan pembelajaran mendalam, sub-cabang kecerdasan buatan, ke komputer desktop. Komputer tunggal adalah salah satu pilihan yang paling penting untuk aplikasi deep learning untuk sistem autonomous/mobile [8].

YOLO [2] telah berhasil digunakan dalam berbagai aplikasi seperti kendaraan otonom, pengawasan keamanan, dan pengenalan objek dalam gambar dan video. Namun, penggunaan YOLO [2] pada perangkat dengan sumber daya terbatas, seperti sistem embedded tetap menjadi tantangan. Untuk mengatasi ini, NVIDIA, perusahaan teknologi terkemuka, telah menghadirkan platform komputasi yang kuat dan efisien, yaitu Jetson Nano [9], Jetson Xavier NX [10], dan GPU Nvidia GeForce [11]. Jetson Nano dan Jetson Xavier NX adalah komputer mini berkinerja tinggi yang dirancang khusus untuk komputasi AI pada sistem embedded. Keduanya menawarkan kecepatan dan efisiensi

yang luar biasa dengan GPU terintegrasi dan arsitektur Deep Learning yang canggih. Di sisi lain, GPU Nvidia GeForce juga menawarkan kekuatan komputasi yang signifikan untuk tugas-tugas yang membutuhkan Deep Learning. Penelitian ini membandingkan kinerja Jetson Nano, Jetson Xavier NX, dan laptop dengan GPU Nvidia GeForce GTX1650TI dalam penerapan YOLOv7 [4]. Peneliti memeriksa waktu eksekusi, keakuratan deteksi objek, dan efisiensi energi dari ketiga *device* ini. Dengan membandingkan hasil eksperimen ini, peneliti berharap dapat memberikan pemahaman yang lebih baik tentang keunggulan dan keterbatasan masing-masing platform dalam penerapan YOLOv7.

II. KAJIAN TEORI

A. Jetson Nano

Nvidia Jetson Nano adalah mikroprosesor kecil untuk mengembangkan dan melatih model dengan menggunakan GPU 128-core Maxwell untuk memproses kerangka kerja dan model AI dengan cepat untuk aplikasi seperti klasifikasi gambar, deteksi objek, dan segmentasi [12]. Jetson Nano diimplementasikan berupa komputer AI yang mempunyai biaya rendah dari NVIDIA. Komputer mini ini memberikan kinerja tinggi untuk bekerja dengan beban kerja AI modern dalam ukuran kecil, juga hemat daya dengan konsumsi daya 5 watt. Jetson Nano memiliki dimensi 80 mm × 100 mm seperti Gambar 1 [12].



GAMBAR 1
Jetson Nano Developer Kit [12]

B. Jetson Xavier NX

Sama seperti Jetson Nano, Jetson Xavier NX juga diciptakan untuk mengembangkan dan melatih model AI. Salah satu fitur terpenting Jetson Xavier NX dari sudut pandang penggunaannya di lapangan adalah efisiensi energinya. Ini menawarkan lima mode konsumsi daya, 10 W dengan 2 atau 4 inti CPU diaktifkan dan 15 W dengan 2, 4 atau 6 inti CPU diaktifkan, yang memungkinkan untuk menyalakannya dengan powerbank portabel atau dengan menggunakan panel surya [13]. Jetson Nano memiliki dimensi 103 mm x 90.5 mm x 31 mm seperti Gambar 2 [13].



GAMBAR 2

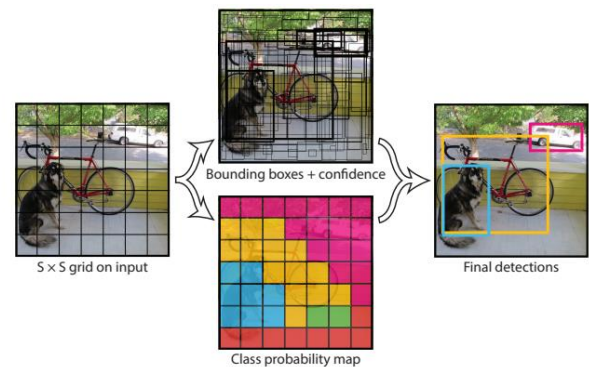
Jetson Xavier NX Developer Kit [13]

C. Lenovo Legion 5

Laptop ini merupakan jenis yang diperuntukan untuk bermain game. Laptop gaming mempunyai performa yang kuat karena game membutuhkan GPU yang mampu menjalankan game dengan grafik yang bagus dan lancar. Laptop gaming juga sering digunakan untuk mengembangkan dan melatih model AI. Salah satu laptop gaming yang sering digunakan yaitu laptop Lenovo Legion 5. Laptop ini ditenagai processor AMD Ryzen 7 4800H dengan grafis GPU NVIDIA GeForce GTX 1650Ti 4GB [14]. Legion 5 memiliki dimensi Mulai dari 363 mm × 260 mm × 23.57 - 26.13 mm / 14.3" × 10.2" × 1".

D. YOLOv7

YOLO (*You Only Look Once*) adalah model yang menggunakan jaringan saraf konvolusional berbasis wilayah atau R-CNN untuk deteksi objek. Model ini dapat melakukan berbagai pendeteksian objek, memprediksi kelas yang dihasilkan, dan menentukan lokasi objek. YOLO dihadirkan sebagai arsitektur yang sangat cepat dan presisi. Namun, keakuratan arsitektur dipengaruhi oleh sejumlah variabel [4].



GAMBAR 3
Ilustrasi Algoritma YOLO [14]

Seperti yang digambarkan pada Gambar 3 [14] YOLO memecah gambar *input* menjadi sejumlah kotak *grid* yang membentuk matriks berukuran $S \times S$. Di sini, nilai S adalah 7 untuk gambar input berukuran 448×448 . Proses untuk menghasilkan kotak pembatas (*bounding box*) melibatkan operasi konvolusi pada gambar *input*. Akibatnya, hasil akhirnya memiliki ukuran kotak pembatas sebesar $S \times S \times (B * 5 + C)$, di mana B mewakili jumlah kotak pembatas (biasanya 2) dalam satu kotak *grid*, dan C adalah jumlah kelas yang dapat diidentifikasi. Faktor 5 mengalikan nilai B karena setiap kotak pembatas menyimpan 5 nilai, yaitu koordinat x , koordinat y , lebar, tinggi, dan skor kepercayaan (probabilitas nilai kotak pembatas terhadap objek) [14].

YOLOv7 [4] adalah entri terbaru dalam seri YOLO. Jaringan ini semakin meningkatkan kecepatan dan akurasi deteksi berdasarkan pekerjaan sebelumnya. Secara khusus, dalam hal arsitektur keseluruhan, makalah ini merekomendasikan E-ELAN, yang menggunakan penskalaan, pencampuran, kombinasi kardinalitas untuk mencapai kemampuan untuk terus meningkatkan kemampuan pembelajaran jaringan tanpa merusak jalur aslinya. E-ELAN dapat memandu berbagai grup blok komputasi untuk mempelajari berbagai fitur. Jurnal

ini juga mengusulkan metode replikasi beberapa model untuk mempertahankan sifat-sifat model dalam desain aslinya dan mempertahankan struktur yang optimal.

Prosesnya dimulai dengan pemberian gambar input ke dalam jaringan saraf yang terdiri dari lapisan konvolusi dan lapisan lainnya. Lapisan konvolusi bertanggung jawab untuk mengekstraksi fitur-fitur visual dari gambar. Selanjutnya, setiap sel pada grid akan memprediksi atribut dari objek yang mungkin ada dalam sel tersebut, seperti kelas objek, koordinat kotak pembatas, dan skor kepercayaan.

YOLOv7 menggunakan skala ganda (*multiple scales*) untuk meningkatkan akurasi dalam mendeteksi objek yang berbeda ukuran dan jarak dari kamera. Dalam skala ganda ini, model YOLOv7 melakukan deteksi objek pada berbagai resolusi gambar yang berbeda, sehingga mampu mengidentifikasi objek kecil dan besar dengan baik.

Selanjutnya, kotak pembatas yang memiliki skor kepercayaan di atas ambang batas tertentu akan diambil sebagai deteksi yang valid. Untuk mengatasi beberapa deteksi yang tumpang tindih pada objek yang sama, YOLOv7 menggunakan algoritma NMS (*non-maximum suppression*) untuk menghilangkan kotak pembatas yang berlebihan.

Dengan demikian, YOLOv7 dapat melakukan deteksi objek real-time dengan cepat dan akurat melalui pendekatan YOLO (*You Only Look Once*), di mana deteksi dilakukan pada seluruh gambar secara simultan, membuatnya cocok untuk aplikasi real-time seperti deteksi kendaraan, deteksi orang, dan banyak lagi.

III. SPESIFIKASI DAN DATASET

A. Dataset

Dataset yang digunakan berupa video dan foto yang diambil dari tambak lobster Aruna Indonesia di pantai Amed, Bali yang dikumpulkan. Dataset ini terdiri dari 1 kelas yaitu lobster dengan rasio pembagian citra 89:4:7 secara berurutan untuk pelatihan, validasi, dan pengujian yang memiliki 40 gambar untuk pelatihan, 2 gambar untuk validasi, dan 3 gambar untuk data uji dengan resolusi gambar diubah. hingga 640×640 piksel, dan setiap gambar telah dianotasi, yang dapat dilihat pada Gambar 4. Nama *class* pada dataset ini hanya diberi 1 yaitu 'lobster'.



GAMBAR 4

Sempel dataset detik ke 1; (atas) Gambar original; (kiri) Anotasi YOLO

Jenis anotasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *bounding boxes* karena model yang digunakan adalah YOLO. Gambar 4 menunjukkan bahwa setiap gambar dianotasi dalam bentuk *bounding boxes*.

Anotasi *bounding boxes* adalah proses penandaan atau pelabelan pada gambar atau video untuk mengidentifikasi dan mengelilingi objek tertentu dengan kotak pembatas. Tujuan utama dari anotasi *bounding boxes* adalah untuk memberi tahu model komputer visi tentang lokasi dan ukuran objek yang ada di dalam gambar, sehingga model tersebut dapat belajar untuk mengenali objek secara otomatis.

Proses anotasi *bounding boxes* melibatkan pemberian kotak pembatas (biasanya berbentuk persegi panjang) di sekitar objek yang ingin diidentifikasi. Kotak pembatas ini memiliki empat parameter utama: koordinat titik awal (x, y) yang menandai sudut atas kiri kotak, serta panjang (*width*) dan lebar (*height*) kotak. Dengan memberikan anotasi seperti ini pada setiap objek dalam gambar, kita memberikan informasi yang diperlukan kepada model pembelajaran mesin untuk memahami letak dan proporsi dari objek tersebut.

Anotasi *bounding boxes* penting dalam pelatihan model deteksi objek seperti YOLO (*You Only Look Once*) atau SSD (*Single Shot MultiBox Detector*), karena mereka membantu model belajar mengenai variasi ukuran, orientasi, dan posisi objek dalam berbagai situasi. Dalam banyak kasus, anotasi *bounding boxes* juga bisa mencakup label kelas objek, yang memberi tahu model tentang jenis objek yang diidentifikasi oleh kotak pembatas tertentu.

Secara keseluruhan, anotasi *bounding boxes* merupakan langkah penting dalam mempersiapkan data pelatihan untuk model deteksi objek, yang pada gilirannya memungkinkan komputer untuk mengenali dan memahami objek secara otomatis dalam gambar atau video.

B. Spesifikasi

Tidak seperti komputer desktop atau komputer pribadi, sistem komputer *single-board* adalah sistem dengan kinerja tinggi dalam arsitekturnya yang sederhana. *Single board computer* adalah jenis komputer lengkap yang terdiri dari semua komponen penting, seperti prosesor, memori, penyimpanan, dan konektivitas, yang terintegrasi ke dalam satu papan sirkuit cetak tunggal. Konsep ini memungkinkan komputer untuk menjadi lebih kecil, lebih hemat energi, dan lebih terjangkau daripada komputer tradisional yang terdiri dari beberapa komponen terpisah. Dalam beberapa tahun terakhir, komputer papan tunggal telah menjadi sangat populer di kalangan pengembang, hobiis, pendidik, dan bahkan dalam industri yang membutuhkan solusi komputasi kecil dan hemat energi. Keunggulan ukuran, fleksibilitas, dan harga yang terjangkau telah membuat komputer papan

tunggal menjadi alat yang kuat untuk mempelajari pemrograman, eksperimen, dan inovasi di berbagai bidang. Meskipun komputer papan tunggal tidak dapat melakukan banyak fungsi yang dapat dilakukan oleh komputer pribadi, perbedaan dalam desain dan konstruksi mengungkapkan tujuan penggunaannya [10]. Ada banyak sistem komputer *single-board* yang menawarkan kemungkinan untuk mengembangkan perangkat keras dan perangkat lunak dan menyertakan CPU/GPU. Jetson Nano, Jetson Xavier NX, Raspberry Pi, BeagleBoard, dan Asus Tinker Board adalah beberapa di antaranya. Komputer papan tunggal digunakan di ATM, diagnostik medis, pertanian presisi, sistem *smarthome*,

Dari hasil TABEL telah dilakukan pengujian dari YOLOv7 pada Jetson Nano, Jetson Xavier NX dan Lenovo Legion 5. Parameter yang diambil untuk penelitian ini adalah dari nilai mAP dan nilai FPS. Nilai mAP yang menjadi nilai condong atau nilai yang diperhatikan adalah nilai pada mAP@0.5-0.95 [17]. Nilai mAP tertinggi dimiliki pada Lenovo Legion 5. Namun, Jetson Xavier NX juga memiliki selisih nilai mAP yang tidak jauh dengan Lenovo Legion 5. Sedangkan, nilai FPS tertinggi dimiliki pada Lenovo 5 dan memiliki selisih yang jauh berbeda yaitu 11-12 fps. Jetson Xavier NX dan Legion 5 memiliki keunggulan dan kekurangannya masing-masing. Jetson Xavier NX memiliki harga yang lebih murah namun performa yang dihasilkan kurang baik [13]. Sedangkan, Lenovo Legion 5 memiliki

TABEL 1
Spesifikasi teknis Jetson Nano, Jetson Xavier NX dan Lenovo Legion 5

Spesifikasi	Jetson Nano	Jetson Xavier NX	Legion 5
CPU	4-core ARM A57 @1.43GHz	6-core NVIDIA Carmel ARM@v8.2 64-bit CPU 6 MB L2 + 4 MB L3	AMD Ryzen 7 4800H processor
GPU	128core Maxwell @921MHz	NVIDIA VoltaTM architecture with 384 NVIDIA® CUDA®cores and 48 Tensor cores	NVIDIA GeForce GTX 1650Ti 4GB
Memory	4GB LPDDR4, 25.6 GB/s	8 GB 128-bit LPDDR4 × 51.2 GB/s	16GB 3200MHz DDR4
Storage	64 GB Micro SD Samsung	64 GB Micro SD Samsung	512GB SSD M.2 2280 NVME TLC
OS	Ubuntu 18.04.5 LTS with kernel version 4.19.140-tegra	Ubuntu 18.04.5 LTS with kernel version 4.19.140-tegra	Windows 11 Home
Power	5W or 10W	10W (or 15W, 30W)	polymer 80Wh

sistem robot, dan banyak bidang lainnya [16]. Penelitian ini membahas perbandingan Jetson Nano, Jetson Xavier, dan Lenovo Legion 5 dalam pemrosesan YOLOv7. Sebelum itu, spesifikasi dari masing-masing *device* perlu dijelaskan seperti pada Tabel 1.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini membahas perbandingan performa Jetson Nano, Jetson Xavier NX, dan Legion 5 terhadap kinerja YOLOv7. Dataset yang kami gunakan untuk membuat pencari lobster ini adalah screenshot video dari peternakan lobster dari Aruna Lobster Farm. Sebanyak 22 citra lobster diambil, yang kemudian diolah dan ditambah menjadi 45 citra dengan pembagian 40 untuk pelatihan, 2 untuk validasi

dan 3 untuk pengujian. Performa yang dibandingkan dilihat dari nilai mAP dan FPS yang dihasilkan dari masing-masing *device*.

TABEL 2
Hasil mAP dan FPS YOLOv7 pada Jetson Nano, Jetson Xavier, dan Lenovo Legion 5

Parameter	Jetson Nano	Jetson Xavier NX	Legion 5
mAP@0.5	0.3142	0.996	0.996
mAP@0.5-0.95	0.06646	0.514	0.547
FPS	1.9	2.9	14

performa jauh lebih tinggi namun memiliki harga yang cukup mahal [14]. Pada penelitian ini, *device* yang direkomendasikan dalam *object detection* lobster dibawah laut adalah Lenovo Legion 5. Hal ini karena performa dari *computer* ini cukup tinggi apabila ditambahkan proses image enhancement dan StrongSORT. Namun, image enhancement dan StrongSORT tidak dibahas pada penelitian ini melainkan pada diskusi lainnya. Jetson Xavier NX menjadi alternatif *object detection computer* apabila tidak dibutuhkannya proses StrongSORT [13]. Hal ini dikarenakan StrongSORT membutuhkan GPU dengan performa tinggi seperti GTX 1650 TI [18].

V. KESIMPULAN

Penelitian ini memverifikasi perbandingan penggunaan Jetson Nano, Jetson Xavier NX, dan Lenovo Legion 5 pada penerapan YOLOv7 dengan tujuan untuk menentukan *device* yang cocok dengan YOLOv7 untuk pendeteksian lobster. Pada perbandingan TABEL terlihat bahwa nilai FPS dan mAP tertinggi dimiliki pada *device* Lenovo Legion 5 yaitu 14 fps dan 0.547 pada mAP@0.5-0.95. Visualisasi yang dihasilkan YOLOv7 berupa video sangat jelas jika menggunakan Lenovo Legion 5. Hasil video akan lebih jelas lagi apabila pemrosesan data video sebelum YOLOv7 dilakukan proses *image enhancement* [19]; [20]. Dan untuk meningkatkan nilai mAP diperlukan adanya model StrongSORT [18]. Pembahasan *image enhancement* dan StrongSORT dijelaskan pada pembahasan lainnya. Adapun penelitian *object detection* menggunakan model YOLO dilakukan pada penelitian “Sistem Inspeksi Cacat pada

Permukaan Kayu menggunakan Model Deteksi Obyek YOLOv5” [21], “Fast and Accurate Fish Classification from Underwater Video using You only Look Once” [22], dan “Lightning YOLOv4 for a surface defect detection system for sawn lumber” [23]. Dari segi harga memang Legion 5 masih sangat mahal dikarenakan spesifikasi yang tinggi pada perangkat ini. Namun, Jetson Xavier NX menjadi salah satu alternatif untuk mendapatkan harga yang terjangkau dengan spesifikasi GPU yang cukup dibutuhkan untuk *object detection*.

REFERENSI

- [1] Deng, L. (2014). “Deep Learning: Methods and Applications”. *Foundations and Trends® in Signal Processing*, 7(3–4), 197–387. <https://doi.org/10.1561/20000000039> (accessed Jun. 20, 2023).
- [2] Diwan, T., Anirudh, G., & Tembhurne, J. V. (2022). “Object detection using YOLO: challenges, architectural successors, datasets and applications”. *Multimedia Tools and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13644-y> (accessed Jun. 20, 2023).
- [3] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection”. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 779–788. <http://pjreddie.com/yolo/> (accessed Jun. 20, 2023).
- [4] Wang, C.-Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H.-Y. M. (2022). “YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors”. <https://arxiv.org/abs/2207.02696> (accessed Jun. 20, 2023).
- [5] Jocher, G. (2023). “Ultralytics YOLOv8: The State-of-the-Art YOLO Model”. Ultralytics. <https://ultralytics.com/yolov8> (accessed Jun. 20, 2023).
- [6] Isikdag, U. (2015). “Internet of Things: Single-Board Computers” (pp. 43–53). https://doi.org/10.1007/978-3-319-21825-0_4 (accessed Jun. 20, 2023).
- [7] Gómez, A., Cuiñas, D., Catalá, P., Xin, L., Li, W., Conway, S., & Lack, D. (2015). “Use of Single Board Computers as Smart Sensors in the Manufacturing Industry”. *Procedia Engineering*, 132, 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.12.461> (accessed Jun. 20, 2023).
- [8] Srinivasan, V., Meudt, S., & Schwenker, F. (2019). “Deep Learning Algorithms for Emotion Recognition on Low Power Single Board Computers” (pp. 59–70). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20984-1_6 (accessed Jun. 21, 2023).
- [9] Cass, S. (2020). “Nvidia makes it easy to embed AI: The Jetson nano packs a lot of machine-learning power into DIY projects - [Hands on]”. *IEEE Spectrum*, 57(7), 14–16. <https://doi.org/10.1109/MSPEC.2020.9126102> (accessed Jun. 21, 2023).
- [10] Ullah, S., & Kim, D.-H. (2020). “Benchmarking Jetson Platform for 3D Point-Cloud and Hyper-Spectral Image Classification” *2020 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*, 477–482. <https://doi.org/10.1109/BigComp48618.2020.00-21> (accessed Jun. 21, 2023).
- [11] Buck, I. (2007). “GPU computing with NVIDIA CUDA”. *ACM SIGGRAPH 2007 Courses*, 6. <https://doi.org/10.1145/1281500.1281647> (accessed Jun. 21, 2023).
- [12] NVIDIA Autonomous Machines. (2023a). “Jetson Nano Developer Kit”. <https://developer.nvidia.com/embedded/jetson-nano-developer-kit> (accessed Jun. 21, 2023).
- [13] NVIDIA Autonomous Machines. (2023b). “Jetson Xavier NX specification”. <https://www.nvidia.com/en-us/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-xavier-nx/> (accessed Jun. 21, 2023).
- [14] lenovo. (2023). “LEGION 5 (15", GEN 5)”. <https://www.lenovo.com/id/in/laptops/legion/legion-5-series/Lenovo-Legion-5-15ARH05/p/88GMY501444> (accessed Jun. 21, 2023).
- [15] Redmon, J., & Farhadi, A. (2016). “YOLO9000: Better, Faster, Stronger”. (accessed Jun. 22, 2023).
- [16] Suzen, A. A., Duman, B., & Sen, B. (2020). “Benchmark Analysis of Jetson TX2, Jetson Nano and Raspberry PI using Deep-CNN”. *2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/HORA49412.2020.9152915> (accessed Jun. 22, 2023).
- [17] Shah, D. (2022, March 7). “Mean Average Precision (mAP) Explained: Everything You Need to Know”. <https://www.v7labs.com/blog/mean-average-precision> (accessed Jun. 22, 2023).
- [18] Du, Y., Zhao, Z., Song, Y., Zhao, Y., Su, F., Gong, T., & Meng, H. (2023). “StrongSORT: Make DeepSORT Great Again”. *IEEE Transactions on Multimedia*, 1–14. <https://doi.org/10.1109/TMM.2023.3240881> (accessed Jun. 22, 2023).
- [19] Chen, X., Zhang, P., Quan, L., Yi, C., & Lu, C. (2021). “Underwater Image Enhancement based on Deep Learning and Image Formation Model”. *IEEE Access*. <https://arxiv.org/abs/2101.00991> (accessed Jun. 22, 2023).
- [20] Li, C., Guo, C., Ren, W., Cong, R., Hou, J., Kwong, S., & Tao, D. (2020). “An Underwater Image Enhancement Benchmark Dataset and beyond”. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29. <https://doi.org/10.1109/TIP.2019.2955241> (accessed Jun. 22, 2023).

- [21] F. Akhyar, L. Novamizanti & T. Riantiarni, "Sistem Inspeksi Cacat pada Permukaan Kayu menggunakan Model Deteksi Obyek YOLOv5", *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 10, no. 4, pp. 990, 2022.
- [22] H. M. Lathifah, L. Novamizanti, and S. Rizal, "Fast and Accurate Fish Classification from Underwater Video using You only Look Once," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing Ltd, Dec. 2020. doi: 10.1088/1757- 899X/982/1/012003.
- [23] F. Akhyar, L. Novamizanti, T. Putra, E. N. Furqon, M. C. Chang & C. Y. Lin, "Lightning YOLOv4 for a surface defect detection system for sawn lumber", In *2022 IEEE 5th International Conference on Multimedia Information Processing and Retrieval (MIPR)*, pp. 184-189, 2022.

