Pengembangan Perangkat Keras Penghitung Benih Udang Otomatis Untuk Peternak Udang Vanname

1st Julius Andrew Pratama Nugroho
Departement of Computer Engineering
Telkom University
Surabaya, Indonesia
Juliusandrew@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Dr. Susijanto Tri Rasmana
Departement of Computer Engineering
Telkom University
Surabaya, Indonesia
susijanto@telkomuniversity.ac.id

3rd Eka Sari Oktarina
Departement of Computer Engineering
Telkom University
Surabaya, Indonesia
ekasario@telkomuniversity.ac.id

***Abstrak* — Proses penghitungan benih udang vaname (Litopenaeus vannamei) secara manual memiliki keterbatasan efisiensi dan akurasi yang signifikan akibat karakteristik tubuh benih yang transparan serta ukuran mikroskopis (0.7–1 cm). Penelitian ini bertujuan merancang bangun perangkat keras akuisisi citra berbasis Controlled Environment Data Collection menggunakan metode pencahayaan backlight dalam ruang tertutup (black box) untuk mengatasi kendala transparansi objek dan meminimalkan gangguan refleksi cahaya pada permukaan air. Berdasarkan pengujian komparatif terhadap variabel perangkat keras, penelitian ini berhasil menentukan konfigurasi standar yang paling optimal untuk menghasilkan dataset citra berkualitas tinggi. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan kamera smartphone resolusi 12 MP jauh lebih unggul dalam menangkap detail siluet objek dibandingkan modul ESP32-CAM (2 MP) yang memiliki keterbatasan noise visual. Kualitas citra terbaik dicapai pada pengaturan intensitas cahaya 2400 Lumen dan jarak akuisisi vertikal 45 cm, yang menghasilkan keseimbangan histogram citra ideal (Rata-rata Intensitas Piksel 150.94). Selain itu, penggunaan wadah persegi panjang berwarna putih susu (Milky White) terbukti efektif mendistribusikan cahaya secara merata dan mencegah penumpukan benih di sisi wadah. Perangkat keras yang dikembangkan mampu memfasilitasi akuisisi dataset dengan variasi kepadatan hingga 500 ekor per citra, yang valid untuk mendukung pelatihan model Deep Learning YOLOv12 dalam sistem penghitungan otomatis.**

Kata kunci— Penghitung Benih Udang, Backlight, Akuisisi Citra, Smartphone, Udang Vaname.

I. PENDAHULUAN

Efisiensi dan akurasi dalam penghitungan benih udang vaname (Litopenaeus vannamei) merupakan tantangan krusial dalam aktivitas budidaya. Hingga saat ini, proses penghitungan sebagian besar masih dilakukan secara manual atau estimasi sampel, yang rentan terhadap kesalahan manusia (human error) akibat kelelahan visual, terutama pada skala transaksi besar di atas 500 ekor (Nation, 2023). Kesulitan utama terletak pada karakteristik morfologi benih fase Post-Larva (PL7–PL10) yang berukuran mikroskopis (0,7–1 cm) dan tubuh yang transparan, sehingga sulit dibedakan dengan latar belakang air (Soegiyanto et al., 2024). Selain itu, penggunaan metode pencahayaan standar sering kali menimbulkan refleksi cahaya pada permukaan air yang menjadi noise visual signifikan dalam sistem visi komputer (Hasanuddin et al., 2024). Meskipun berbagai penelitian telah mengembangkan sistem penghitungan otomatis, seperti aplikasi berbasis YOLOv5 oleh Asmak et al. (2024), sebagian besar masih memiliki keterbatasan pada sisi perangkat keras. Penggunaan cahaya lingkungan (ambient light) pada penelitian terdahulu dinilai kurang efektif dalam menangani objek transparan, serta kapasitas deteksi yang terbatas pada sampel kecil (<90 ekor) sehingga kurang relevan untuk kebutuhan industri. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan teknik akuisisi citra yang mampu mempertegas fitur objek sekaligus meminimalkan gangguan eksternal. Penelitian ini bertujuan merancang bangun perangkat keras akuisisi citra berbasis Controlled Environment Data Collection untuk mengatasi kendala transparansi dan refleksi cahaya. Solusi yang diusulkan adalah penggunaan ruang tertutup (black box) dengan metode pencahayaan latar (backlight) untuk menciptakan efek siluet, sehingga objek transparan tervisualisasi gelap dan kontras terhadap latar belakang terang (Hermawan et al., 2020). Lingkup pengembangan difokuskan pada optimalisasi konfigurasi perangkat keras—termasuk intensitas cahaya, jarak kamera, dan desain wadah—untuk menghasilkan dataset yang valid bagi pelatihan model Deep Learning. Secara spesifik, penelitian ini menggunakan wadah persegi panjang berwarna putih susu (Milky White) untuk mendistribusikan cahaya secara merata dan mencegah penumpukan benih di sisi wadah (thigmotaxis), serta pembatasan ketinggian air 3 cm untuk menghindari oklusi vertikal antar objek. Melalui standarisasi perangkat keras ini, diharapkan dapat dihasilkan sistem penghitungan yang akurat dan efisien untuk kepadatan hingga 500 ekor per citra.

II. KAJIAN TEORI.

A. Karakteristik Benih Udang dan Tantangan Visual

Benih udang vaname (Litopenaeus vannamei) pada fase Post-Larva (PL) memiliki karakteristik biologis unik yang menjadi tantangan utama dalam sistem visi komputer. Secara

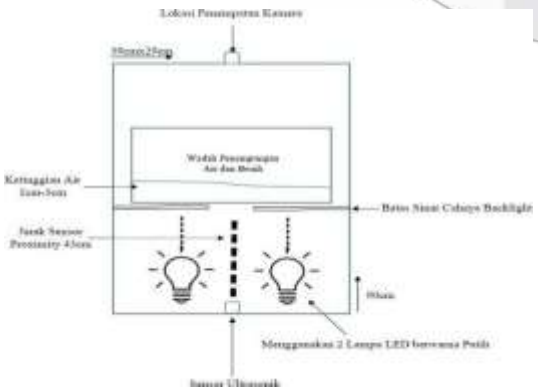
morfologi, benih pada fase ini memiliki ukuran mikroskopis (panjang tubuh berkisar 6–10 mm) dengan struktur tubuh yang belum memiliki pigmentasi kromatofora sempurna. Hal ini menyebabkan tubuh udang memiliki tingkat transparansi optik yang tinggi, sehingga nyaris tidak terlihat (invisible) ketika berada di dalam air jernih dengan pencahayaan konvensional. Selain faktor transparansi, benih udang memiliki perilaku alami yang disebut thigmotaxis, yaitu kecenderungan organisme untuk menempel pada permukaan benda padat atau dinding wadah untuk mencari perlindungan. Dalam konteks penghitungan otomatis, perilaku ini sering menyebabkan terjadinya penumpukan (clumping) atau oklusi di mana tubuh udang saling menindih di area pinggir wadah. Kondisi ini menyulitkan algoritma deteksi objek untuk memisahkan individu udang secara akurat jika resolusi citra dan kontras yang dihasilkan tidak optimal.



GAMBAR 1
(BENIH UDANG VANAME)

B. Prinsip Optik Pencahayaan Backlight

Pencahayaan memegang peranan paling krusial dalam akuisisi citra objek transparan. Metode pencahayaan dari atas (front-lighting) yang umum digunakan sering kali menghasilkan pantulan spekular (glare) pada permukaan air yang tidak rata, yang kemudian terdeteksi sebagai noise oleh sistem. Untuk mengatasi hal ini, diterapkan metode backlighting atau iluminasi latar. Prinsip kerja backlight adalah menempatkan sumber cahaya di belakang objek dan berhadapan langsung dengan lensa kamera. Cahaya yang dipancarkan akan menembus medium air yang bening, namun akan mengalami pembiasan atau penyerapan ketika melewati tubuh benih udang yang memiliki densitas berbeda dengan air. Fenomena ini menciptakan efek siluet, di mana objek target akan tampak gelap (hitam) dengan latar belakang yang terang (putih). Teknik ini secara efektif menghilangkan tekstur permukaan air dan meningkatkan kontras tepi (edge contrast) objek, sehingga fitur bentuk tubuh udang dapat diekstraksi dengan lebih mudah tanpa terganggu oleh variasi warna atau refleksi cahaya lingkungan.



GAMBAR 2
(CONTOH VISUAL OBJEK TRANSPARAN PENCAHAYAAN KONVENSIONAL, DAN EFEK SILUET MENGGUNAKAN METODE *BACKLIGHT*)

C. Standarisasi Akuisisi Citra untuk Deep Learning

Keberhasilan model deteksi objek berbasis Deep Learning, seperti YOLO (You Only Look Once), sangat bergantung pada kualitas dataset yang digunakan (Garbage In, Garbage Out). Citra input harus memiliki resolusi spasial yang cukup untuk mendefinisikan fitur objek kecil dan meminimalkan ambiguitas visual. Dalam konteks penghitungan benih, citra mentah (raw image) sering kali perlu melalui tahap pra-pemrosesan (preprocessing) untuk menyeragamkan distribusi data. Proses standarisasi meliputi pengaturan orientasi (auto-orient), penyesuaian ukuran dimensi citra (resizing) agar sesuai dengan input layer model (misalnya 640x640 piksel), serta konversi ruang warna menjadi grayscale untuk mengurangi beban komputasi. Selain itu, teknik augmentasi data seperti rotasi, variasi tingkat kecerahan (brightness), dan penambahan noise diperlukan untuk memperkaya variasi data latih. Hal ini bertujuan agar model yang dihasilkan memiliki kemampuan generalisasi yang baik dan tangguh (robust) terhadap perubahan kondisi lingkungan saat diimplementasikan secara nyata.

III. METODE

A. Design Perangkat untuk pengumpulan dataset

Perancangan perangkat keras ini bertujuan meningkatkan efisiensi akuisisi dataset citra benih udang vaname guna mendukung sistem pengolahan citra yang akurat untuk keperluan transaksi penjualan. Perangkat dirancang menggunakan struktur akrilik berwarna hitam pekat sebagai black box untuk meminimalkan masuknya cahaya eksternal dan mengurangi noise optik. Dimensi rangka utama adalah 39 × 29 × 90 cm. Alas pembatas menggunakan akrilik transparan setebal ±3 mm untuk menjaga transmisi cahaya backlight tetap optimal. Wadah penampung benih menggunakan kotak berwarna putih berukuran 38 × 27 × 14 cm agar distribusi cahaya merata selama proses akuisisi citra. Sistem pencahayaan dikendalikan secara otomatis menggunakan sensor ultrasonik, di mana lampu backlight aktif saat wadah terdeteksi pada jarak 42 cm dan nonaktif ketika wadah tidak terdeteksi. Desain ini berfungsi sebagai konfigurasi awal perangkat akuisisi citra benih udang.



GAMBAR 3
(ALAT YANG DIGUNAKAN UNTUK PENGAMBILAN DATA CITRA)



GAMBAR 4
(ALAT YANG DIGUNAKAN UNTUK PENGAMBILAN DATA CITRA)

B. Metode Pencahayaan Backlight

Sistem pencahayaan backlight diterapkan untuk mengatasi ketidakkonsistenan pencahayaan baik pada lingkungan luar ruangan (outdoor) maupun dalam ruangan (indoor) yang berpotensi menurunkan kualitas citra akibat fluktuasi intensitas dan arah cahaya. Variasi pencahayaan tersebut dapat menimbulkan noise visual dan mengurangi presisi pengolahan citra. Oleh karena itu, metode backlight digunakan untuk menciptakan kondisi pencahayaan yang terkontrol dan stabil. Pencahayaan dari bawah wadah mampu meminimalkan pantulan cahaya pada permukaan air serta menghasilkan efek siluet yang meningkatkan kontras antara objek benih udang dan latar belakang, sehingga mempermudah proses pelabelan dan segmentasi citra. Sistem ini menggunakan dua lampu LED 220 V dengan intensitas 900–3000 lumen berwarna putih untuk menghasilkan pencahayaan netral dan merata tanpa mengganggu karakteristik visual benih udang.



GAMBAR 5
(CONTOH PENCAHAYAAN DI OUTDOOR)



GAMBAR 6
(SISTEM PENCAHAYAN BACKLIGHT)

C. Alur Pembuatan Dataset

Pembuatan dataset pada penelitian ini menerapkan metode Controlled Environment Data Collection melalui penggunaan perangkat keras black box tertutup untuk menciptakan kondisi akuisisi citra yang terkontrol dan konsisten. Pendekatan ini bertujuan mengeliminasi gangguan eksternal seperti fluktuasi pencahayaan ambien dan pantulan permukaan air, serta menstandarisasi parameter utama meliputi jarak kamera, intensitas pencahayaan backlight, dan karakteristik fisik wadah. Akuisisi citra dilakukan menggunakan kamera smartphone dan ESP32-CAM yang diposisikan secara statis di atas wadah, dengan pencahayaan backlight dari bawah untuk meningkatkan kontras visual dan membentuk efek siluet benih udang.

Dataset mentah yang diperoleh kemudian diseleksi dan disusun menggunakan platform Roboflow melalui proses kurasi kualitas, pra-pemrosesan, dan augmentasi data yang dikunci dalam satu dataset version untuk menjamin konsistensi dan reprodusibilitas penelitian. Pelabelan dilakukan secara manual menggunakan metode bounding box untuk membentuk ground truth yang akurat, terutama pada objek benih udang yang bersifat transparan dan saling berdekatan

Untuk kebutuhan arsitektur YOLO, setiap *bounding box* didefinisikan sebagai vektor empat dimensi

$$b = (Xc, Yc, w, h)$$

dengan Xc dan Yc sebagai koordinat titik pusat objek, serta w dan h sebagai lebar dan tinggi kotak pembatas. Seluruh koordinat dinormalisasi terhadap dimensi citra agar bernilai antara 0 hingga 1, sehingga dataset bersifat independen terhadap resolusi input. Proses normalisasi dan ekspor dataset dilakukan secara otomatis menggunakan fitur *Export Snippet* pada Roboflow untuk meminimalkan kesalahan perhitungan manual dan memastikan kompatibilitas penuh dengan sistem deteksi objek.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perbandingan Kualitas Citra Antar Perangkat Kamera

Pengujian kualitas citra dilakukan dengan membandingkan hasil akuisisi dari kamera smartphone OPPO A5 2020 dan modul ESP32-CAM pada kondisi pencahayaan dan posisi kamera yang sama. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kamera smartphone dengan resolusi 12 MP menghasilkan citra dengan kontras tinggi, batas tepi objek yang tegas, serta detail siluet benih udang yang jelas hingga bagian mata dan ekor. Teknik cropping digital menunjukkan bahwa detail visual tetap terjaga tanpa distorsi signifikan, sehingga kamera smartphone dinilai lebih unggul dalam merekam objek kecil dan transparan.

Sebaliknya, citra yang dihasilkan oleh ESP32-CAM dengan resolusi 1600 × 1200 piksel memperlihatkan keterbatasan kualitas visual berupa noise (grainy) yang menyebar merata pada seluruh area citra. Kondisi ini menyebabkan batas tepi objek kurang jelas, terutama pada pembesaran digital, sehingga berpotensi menurunkan akurasi pada tahap segmentasi dan deteksi objek. Hasil ini mengindikasikan bahwa ESP32-CAM kurang optimal

digunakan sebagai perangkat utama akuisisi dataset benih udang vaname.

B. Analisis Pengaruh Intensitas Pencahayaan Backlight dan Desain Wadah

Analisis pencahayaan dilakukan dengan membandingkan empat skenario intensitas backlight, yaitu 1040, 2040, 2400, dan 3100 lumen. Evaluasi kualitas citra dilakukan menggunakan parameter Mean Gray Level dari histogram intensitas piksel. Hasil analisis menunjukkan bahwa intensitas 2400 lumen menghasilkan nilai rata-rata intensitas piksel sebesar 150,94, yang berada pada rentang ideal untuk menampilkan keseimbangan antara area terang dan gelap. Intensitas di bawah nilai tersebut menghasilkan citra cenderung gelap, sedangkan intensitas di atasnya menyebabkan saturasi dan hilangnya detail objek.

Selain pencahayaan, desain wadah juga berpengaruh terhadap kualitas akuisisi. Wadah berbentuk kotak menghasilkan distribusi benih yang lebih merata dibandingkan wadah berbentuk lingkaran yang cenderung menyebabkan penumpukan di tepi. Dari sisi material, wadah berwarna putih susu terbukti mampu mendistribusikan cahaya secara lebih stabil dibandingkan warna lain yang menyerap atau mendistorsi cahaya. Kombinasi pencahayaan backlight dan desain wadah ini berperan penting dalam menghasilkan citra yang konsisten dan mudah diproses.

C. Penentuan Konfigurasi Optimal dan Karakteristik Dataset

Berdasarkan hasil analisis komparatif terhadap perangkat kamera, pencahayaan, wadah, dan jarak pengambilan gambar, diperoleh konfigurasi optimal sistem akuisisi citra, yaitu penggunaan kamera smartphone 12 MP, pencahayaan backlight 2400 lumen, wadah kotak berwarna putih susu, dan jarak vertikal kamera 45 cm. Konfigurasi ini mampu menyeimbangkan antara luas area pandang dan ketajaman visual objek.

Dengan konfigurasi tersebut, berhasil dihimpun dataset mentah sebanyak 151 citra yang dikelompokkan ke dalam tiga skenario kepadatan, yaitu kepadatan rendah (10–100 ekor), sedang (101–500 ekor), dan uji batas (501–771 ekor). Dataset selanjutnya distandarisasi melalui proses auto-orient, resize menjadi 640×640 piksel, serta konversi ke grayscale untuk memastikan keseragaman data sebelum digunakan pada tahap pelatihan model deteksi objek.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa perangkat keras akuisisi citra yang dikembangkan mampu berfungsi secara efektif sebagai sistem pendukung penghitungan benih udang vaname hingga ratusan ekor. Penerapan ruang akuisisi tertutup (*black box*), pengaturan jarak kamera yang konstan, serta pembatasan ketinggian air menghasilkan kondisi pengambilan citra yang stabil dan konsisten, sehingga meningkatkan efisiensi penghitungan dibandingkan metode manual, khususnya pada kepadatan benih yang tinggi.

Penerapan pencahayaan backlight dari arah bawah wadah terbukti efektif dalam meningkatkan kontras citra benih udang yang bersifat transparan. Kombinasi intensitas cahaya yang optimal dengan penggunaan wadah berbentuk persegi panjang berbahan putih susu mampu menghasilkan distribusi cahaya yang merata dan kualitas dataset yang terstandarisasi, sehingga mendukung proses pengolahan citra dan penghitungan benih secara akurat dan andal.

Simpulan harus diuraikan dalam bentuk paragraf yang berisi poin utama pembahasan hasil penelitian, berupa uraian dan tidak boleh menggunakan pointer.

REFERENSI

Adrian, F., Atmodjo, T., Prilianti, K. R., & Setiawan, H. (2023). Implementasi Perbaikan Kualitas Citra Tanaman terhadap Perbedaan Kamera untuk Prediksi Pigmen Fotosintesis berbasis Machine Learning. 14(April), 30–39.

Ahmad, I., Akmal, M., Jafri, F., Salih, N. M., Hidayah, N., Kahar, A., Noor, D., Putri, H., & Hikmaturokhman, A. (2025). Automatic Counting of Shrimp Larvae using Artificial Intelligence. 1(1), 33–43.

Akbar, A., & Rizal, A. (2023). Pertumbuhan dan Tingkat Kelangsungan Hidup Udang Kaki Putih (Penaeus vannamei) pada Suhu dan Salinitas yang Berbeda Growth and Survival Rate of White-Leg Shrimp (Penaeus vannamei) at Different Temperature and Salinity. 24(2023), 77–84.

Asmak, S. Y., Rizaldi, D. D., Adi, R., Saputra, F., Pepe, A., Hananto, V. R., & Oktarina, E. S. (2024). A Mobile App for Counting Shrimp Larvae Based on the YOLO V5 Method. 5(2). https://doi.org/10.52435/complete.v5i2.647

Aulia, R., & Alda, M. (2023). Building Android-Based Gose Applications Using React Native Framework and Firebase Realtime Database. 2(3), 102–114.

Bai, J., Zhang, H., Gao, H., Guo, S., Wang, S., & Pan, A. (2024). Backlight Imaging Based on Laser-Gated Technology. 1–14.

Dalal, M., & Mittal, P. (2025). A Systematic Review of Deep Learning-Based Object Detection in Agriculture : Methods , Challenges , and Future Directions. https://doi.org/10.32604/cmc.2025.066056

Dau, S. H. (2025). The Small-Sized Fry Counting System in The Aquaculture Industry Utilizes A Lighting TechniqueThat Avoids Reflection from The Water Surface , Combined with Computer Vision. 1, 1047–1063.

Farrell, R., Cortese, Y. J., Abdeali, G., Chyzna, V., Devine, D. M., & Pezzoli, R. (2025). Reusable packaging : The impact of repeated use on the visual quality , properties and food contact safety of plastic packaging materials. Cleaner Materials, 17(March), 100330. https://doi.org/10.1016/j.clema.2025.100330

Gamage, A. N. K. K. (2025). A comparative analysis of qualitative and mixed methods research : Strengths , limitations , and practical applications. 25(03), 2040–2046.