



Rancang Bangun Deteksi Objek dengan Metode Filter Warna HSV pada Sistem Klasifikasi Kualitas Biji Kopi Berbasis NVIDIA Jetson Nano

Ahmad Ersam Nur Ramadhan^{1✉}, Widyadi Setiawan^{2✉}, Duman Care Khrisne^{3✉}

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Indonesia^(1,2,3)

DOI: 10.31004/jutin.v6i4.21406

✉ Corresponding author:

[ahmadersam@student.unud.ac.id]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:

Biji Kopi;

Computer Vision;

Deteksi Objek;

Hue Saturation Value;

Jetson Nano

Proses seleksi biji kopi pasca-panen berperan penting dalam proses produksi untuk menjamin kualitas biji yang optimal. Saat ini, proses tersebut masih dilakukan secara manual di Indonesia. Penggunaan *computer vision* dapat meningkatkan objektivitas proses pemilahan dengan penerapan *machine vision*. Sistem deteksi objek yang efektif diperlukan sebagai penunjang purwarupa sistem klasifikasi kualitas biji kopi berbasis NVIDIA Jetson Nano. Metode filter warna *Hue Saturation Value* (HSV) dapat digunakan untuk mendeteksi adanya objek pada suatu *frame* gambar dengan efektif. Pengujian keselarasan antara rancangan alur kerja dengan kinerja sistem saat beroperasi digunakan sebagai evaluasi unjuk kerja. Sistem deteksi objek direalisasikan dengan menggunakan *webcam* mampu mengidentifikasi adanya objek biji kopi dengan efektif, namun memiliki keterbatasan berupa kurang efisiennya dalam mendeteksi objek biji kopi diluar ambang batas warna HSV yang ditentukan, yaitu objek yang cenderung berwarna kehitaman dan berukuran lebih kecil. Terdapat *jello effect* diakibatkan spesifikasi *webcam* dengan *roller shutter* tidak cocok untuk objek yang bergerak.

Abstract

Keywords:

Coffee Beans;

Computer Vision;

Object Detection;

Hue Saturation Value;

Jetson Nano

The Post-harvest coffee bean selection plays a crucial role in ensuring optimal bean quality during production processes. Currently, this process is manually conducted in Indonesia. Implementing computer vision can enhance the objectivity of the sorting process through machine vision. An effective object detection system is essential to support a prototype coffee bean quality classification system based on NVIDIA Jetson Nano. The Hue Saturation Value (HSV) color filter method proves effective in detecting objects within a given image frame. Performance evaluation is conducted by assessing the alignment between workflow design and system operation. While the webcam-based object detection system successfully deployed, it effectively identifies coffee bean objects, it faces limitations in detecting smaller, dark-colored beans beyond the specified HSV color threshold. These limitations are

attributed to the webcam's specifications, including its rolling shutter, which results in a 'jello effect' when dealing with moving objects.

1. INTRODUCTION

Konsumsi kopi dunia mengalami peningkatan signifikan dalam lima tahun terakhir (International Coffee Organization, 2021). Sebagai salah satu komoditas perdagangan terbesar, tentunya peningkatan tren konsumsi kopi tersebut menjadi peluang bagi Indonesia yang saat ini merupakan negara produsen kopi terbesar ketiga di dunia (International Coffee Organization, 2022). Peran penting Indonesia pada industri kopi dunia tidak terlepas dari sebagian hasil produksi komoditas kopi yang diekspor ke pasar dunia, dengan persentase 99,33% bersumber dari perkebunan rakyat (Badan Pusat Statistik, 2020). Hal tersebut mengindikasikan adanya potensi Indonesia untuk memperkuat posisinya dalam pasar kopi dunia.

Salah satu tahap penting yang berpengaruh signifikan pada kualitas produksi biji kopi adalah pemilahan buah kopi dan pemilihan biji kopi setelah panen. Proses pasca panen tersebut berkontribusi sebanyak 60% terhadap kualitas biji kopi dibandingkan dengan proses sebelum panen (Haile & Hee Kang, 2020). Pengetahuan tentang proses pasca panen sangat penting untuk menghasilkan kualitas biji kopi yang optimal. Buah kopi siap dipanen setelah memasuki fase pematangan buah yang ditandai warna buah kopi yang kemerahan. Buah kopi yang telah dipanen, selanjutnya akan diolah menggunakan beberapa metode guna mendapatkan biji kopi yang telah terpisah dari buah dan kulitnya. Biji kopi yang telah terpisah dari buah dan kulitnya disebut biji kopi hijau (*green bean coffee*). Biji kopi hijau akan diproses lagi guna mendapatkan kualitas biji kopi yang optimal untuk dipasarkan ke pasar dunia.

Standarisasi kualitas biji kopi di Indonesia diatur dalam SNI 01-2907-2008 yang mengatur nilai cacat pada biji kopi (Badan Standardisasi Nasional, 2008). Biji kopi di Indonesia umumnya masih diproses melalui klasifikasi yang dilakukan secara manual oleh tenaga manusia dengan pemeriksaan visual dan pemisahan berdasarkan bentuk fisik biji kopi terbaik. Metode ini memiliki keterbatasan, terutama ketika harus menangani biji kopi dengan jumlah cukup banyak, meliputi masalah efisiensi, objektivitas, dan konsistensi. Diperlukan sistem klasifikasi yang lebih unggul serta langkah-langkah strategis yang lebih baik dalam proses pengolahan pasca panen produksi kopi di Indonesia.

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mendapatkan kualitas biji kopi yang optimal adalah dengan pemanfaatan teknologi pengenalan gambar. Teknologi pengenalan gambar diketahui dapat secara efisien mengatasi proses deteksi dan identifikasi objek khusus serta melakukan klasifikasi gambar (Al-Saffar *et al.*, 2017). Teknologi pengenalan gambar seperti Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan jumlah neuron yang optimal pada lapisan tersembunyi menghasilkan kemampuan yang baik dalam menjalankan tugas tugas tertentu (Setiawan & Asri, 2005). Penggunaan JST dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam proses pemilahan kualitas biji kopi. Selain hal tersebut, penggunaan *embedded system* dapat memenuhi kebutuhan dalam hal fungsionalitas, keandalan, biaya, kapasitas, dan sumber daya yang diperlukan dalam suatu aplikasi (Dwi *et al.*, 2010). Pemanfaatan teknologi *embedded system* akan mengoptimalkan operasi dan pengolahan data biji kopi yang akan diproses JST.

Penelitian sebelumnya mengenai pemilahan dan klasifikasi menggunakan teknologi pengenalan gambar pada buah dan biji kopi antara lain dilakukan oleh Frasiska pada tahun 2020 yang mengembangkan alat pemisah buah kopi berdasar warna menggunakan metode filter warna *Hue Saturation Value* (HSV) pada Raspberry Pi (Frasiska, 2020). Penelitian lainnya mampu menghasilkan sebuah sistem yang mengklasifikasikan biji kopi hijau secara *real-time* dengan akurasi yang cukup tinggi menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *webcam* (Huang *et al.*, 2020). Penelitian lanjutan diharapkan dapat mengintegrasikan teknologi tersebut dengan perangkat robotika untuk memisahkan biji kopi serta memanfaatkan *edge computing* seperti NVIDIA Jetson Nano, Raspberry Pi 4, atau Intel Neural Compute Stick agar dapat dilakukan mobilisasi perangkat lebih baik dan mudah dengan biaya yang lebih murah. Namun, beberapa penelitian lainnya menunjukkan bahwa kinerja CNN pada Raspberry Pi dipengaruhi oleh terbatasnya spesifikasi CPU dan GPU yang tersedia pada varian perangkat tersebut (Fukai *et al.*, 2018; Gope & Fukai, 2022).

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini akan memfokuskan pada rancang bangun sistem deteksi objek yang efektif sebagai bagian integral dari purwarupa sistem klasifikasi kualitas biji kopi yang bekerja

secara *embedded* pada NVIDIA Jetson Nano. Rancang bangun sistem deteksi objek akan menggunakan metode filter warna *Hue Saturation Value* (HSV) untuk mendeteksi adanya objek dalam *frame* gambar yang diterima *webcam* secara *real-time* dengan cepat dan akurat. Integrasi yang baik antara sistem deteksi objek dan sistem klasifikasi kualitas biji kopi diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi proses pengolahan biji kopi

2. METHODS

Studi literatur, observasi, dan eksperimen merupakan metode pengumpulan data yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini. Metode studi literatur digunakan untuk mengumpulkan landasan teori dan penelitian terdahulu yang relevan. Referensi diambil dari berbagai sumber pustaka, termasuk buku, jurnal, *data sheet*, artikel, dan publikasi ilmiah lainnya yang masih relevan dengan rancang bangun sistem klasifikasi biji kopi dan implementasinya dalam berbagai bidang. Hasil dari studi literatur tersebut kemudian diolah menjadi landasan rujukan untuk pengembangan sistem pada penelitian ini. Selain itu, digunakan metode observasi yang melibatkan pengamatan dan pengujian langsung terhadap parameter-parameter dalam perancangan sistem, yang menghasilkan data hasil observasi. Selanjutnya, metode eksperimen dilaksanakan setelah seluruh sistem dibangun, dan pengujian sistem secara keseluruhan dilakukan, menghasilkan data hasil eksperimen.

Tahapan penelitian dan pengembangan purwarupa akan dilakukan dengan beberapa tahap termasuk studi literatur, perancangan perangkat lunak, uji coba sistem keseluruhan, evaluasi dan perbaikan, serta pengambilan data. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari dan menganalisis dari sistem lain yang sudah dibuat sebelumnya sebagai penunjang tambahan dari gagasan yang akan direalisasikan. Hasil dari studi literatur disimpulkan dengan menyesuaikan rancangan sistem minimum yang efektif serta dapat direalisasikan dengan *timeline* pengerjaan yang singkat, yaitu deteksi objek biji kopi pada *background* tiap *frame* citra secara *realtime* yang hanya akan mengakuisisi citra apabila terdapat objek untuk diteruskan menuju sistem klasifikasi. Tahap perancangan perangkat lunak dilakukan dengan beberapa proses antara lain penentuan *input* citra yang akan diklasifikasi berupa citra RGB dengan ukuran 150×150 piksel, kemudian perancangan skema akuisisi citra untuk deteksi objek menggunakan filter warna HSV menggunakan OpenCV, serta konversi warna hasil akuisisi citra oleh *webcam* ke format RGB. Tahap pembuatan perangkat lunak dilakukan dengan menentukan konfigurasi algoritma program sesuai dengan rancangan perangkat lunak yang dibutuhkan, program yang dibuat akan menggunakan bahasa pemrograman python. Pada tahap ini format *raw* data citra dari *webcam* menggunakan OpenCV berupa BGR akan dikonversi menjadi HSV, selanjutnya dilakukan *masking* sesuai batas *threshold value upper* dan *lower* HSV yang telah didapatkan dari proses eksperimen menggunakan objek biji kopi pada inputan *webcam*. Objek yang berhasil dideteksi akan dilakukan akuisisi citra kemudian dilakukan proses konversi format *raw* data dari *webcam* dengan OpenCV berupa BGR ke RGB yang diteruskan ke sistem klasifikasi. Tahap pengujian sistem akan melakukan pengujian dan simulasi dari sistem yang telah dibuat dengan pengecekan kesesuaian antara rancangan *flowchart* proses akuisisi citra, proses klasifikasi citra, serta *flowchart* kontrol pergerakan aktuator dengan aksi/*output* program saat dijalankan. Evaluasi dan perbaikan dilakukan apabila pada pengujian sistem belum dapat bekerja dengan baik sesuai perancangan *flowchart* sistem. Pengambilan data akan dilakukan dengan pengujian sistem terhadap efektivitas proses akuisisi citra pada beberapa objek biji kopi saat keseluruhan sistem bekerja, dengan batas *threshold value upper* dan *lower* HSV yang telah didapatkan dari proses eksperimen. Adapun rancangan *flowchart* purwarupa sistem yang akan dibangun ditampilkan pada Fig. 1.

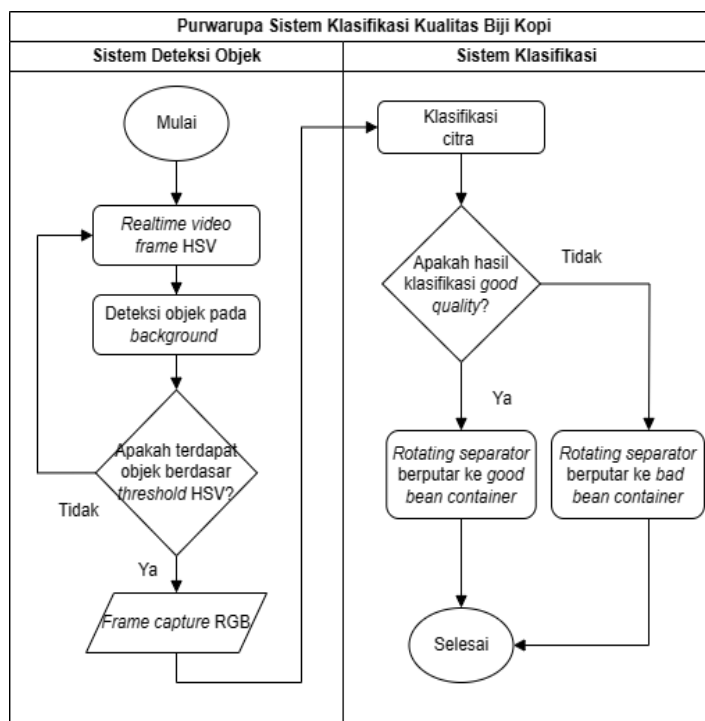


Fig. 1. Flowchart purwarupa sistem klasifikasi kualitas biji kopi.

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1 HSV Masking Threshold Value

Biji kopi hijau berkualitas baik dan cacat diambil sampel citranya untuk mengetahui nilai ambang batas HSV (HSV threshold value) dengan program python HSV value finder pada Fig. 2. Trackbar upper dan lower dari parameter HSV digeser hingga mendapatkan bagian citra yang mengalami erosi dan dilatasi yang diinginkan. Mask pada piksel akan bernilai 1 (berwarna putih) apabila masuk kedalam rentang nilai ambang batas HSV yang ditentukan. Kemudian, mask pada piksel akan bernilai 0 (berwarna hitam) apabila tidak masuk kedalam rentang nilai ambang batas HSV yang ditentukan. Eksperimen ini bertujuan untuk menyeleksi objek biji kopi yang terdapat pada frame dan mengabaikan objek lainnya pada background. Nilai upper dan lower dari setiap parameter HSV dari hasil eksperimen dan observasi disajikan dalam rentang 0-179 untuk Hue yang telah disederhanakan pada OpenCV, dan rentang 0-255 untuk Saturation dan Value pada Table 1.

Table 1. HSV masking threshold value

Parameter	Hue	Saturation	Value
Lower	0	54	0
Upper	104	255	255

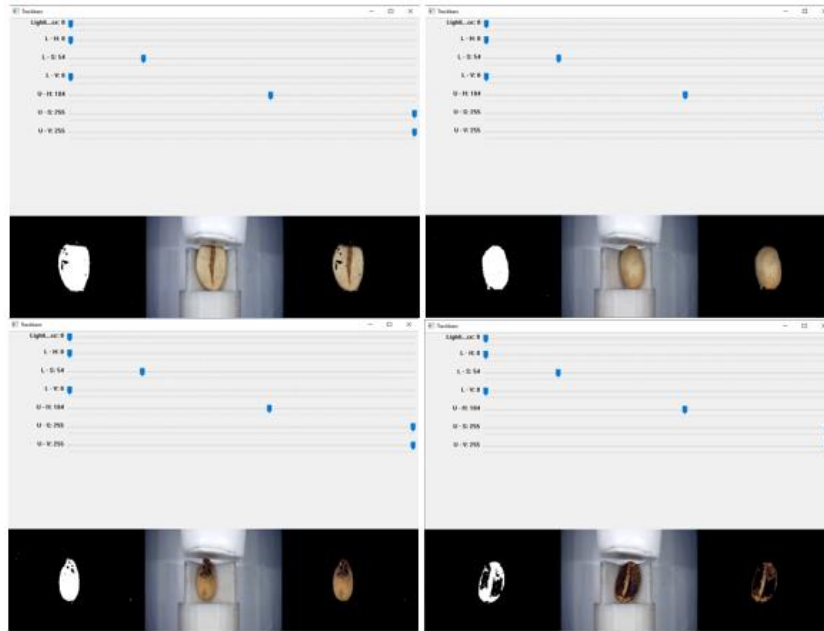


Fig. 2. HSV value finder pada sampel good dan bad bean.

Penggunaan metode selongsong peluncur biji kopi dari corong menuju bagian *rotating separator* menjadi tantangan pada penentuan ukuran *masking* yang dapat dianggap sebagai ukuran objek minimum yang akan dicuplik *frame* citranya. Apabila ukuran *masking* terlalu kecil, maka algoritma deteksi objek akan dapat mengakuisisi objek biji kopi berukuran kecil, namun sebaliknya akan mencuplik citra objek biji kopi yang besar sebelum kondisi utuh dari biji kopi keluar melewati ujung selongsong peluncur. Maka, dari beberapa eksperimen yang dilakukan disepakati penentuan ambang batas *masking* yang akan dicuplik dari *upper dan lower threshold* adalah sebesar 10% dari total piksel dalam *frame*.

3.2 Hasil Pengujian Proses Akuisisi Citra

Program deteksi objek yang telah dikembangkan kemudian dilakukan observasi menggunakan sebagian kecil dari sampel biji kopi hijau berkualitas baik dan cacat untuk mengetahui apakah program telah dapat bekerja sesuai proses kerja yang telah dirancang pada *flowchart* purwarupa sistem. Hasil pengujian sampel pada Fig. 3 menggunakan instrumen berbasis arsitektur prosesor X86-64 menunjukkan sistem dapat bekerja dengan baik saat terdapat objek biji kopi, dengan catatan citra yang diakuisisi pada saat awal sistem bekerja (log0) akan diabaikan karena citra tersebut merupakan hasil akuisisi akibat kalibrasi sensor pada modul kamera webcam.

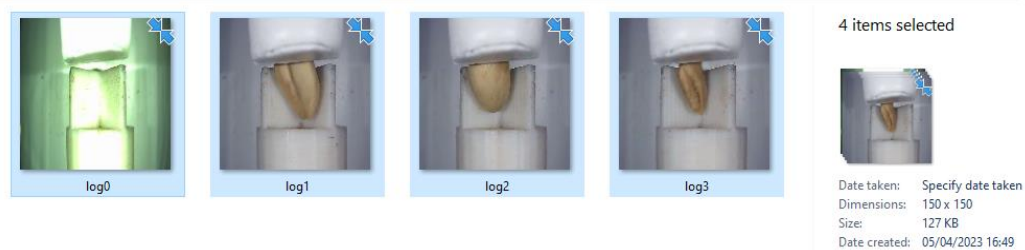


Fig. 3. Log file akuisisi citra pada arsitektur prosesor x86-64.

Hasil akuisisi citra pada log citra akuisisi dapat dilakukan validasi melalui parameter yang tampil pada *output* terminal. Data *output* terminal pada Fig. 4 menunjukkan *time stamp* objek terakuisisi dan lama waktu inferensi yang dilakukan sistem klasifikasi dari objek terakuisisi hingga dapat diklasifikasikan kualitasnya. Pengujian awal menunjukkan bahwa objek dapat terakuisisi dengan baik dan cukup jelas, sehingga hasil klasifikasi terhadap citra yang akuisisi cukup presisi dengan akurasi yang baik. Hasil observasi sistem deteksi objek pada instrumen berbasis arsitektur prosesor X86-64 juga menunjukkan bahwa sistem deteksi objek mampu bekerja dengan baik sebagai bagian integral dari sistem klasifikasi, hasil observasi ini selanjutnya akan dilanjutkan untuk dilakukan *deployment* pada instrumen berbasis ARM64 (NVIDIA Jetson Nano).

```

object detected at Wed Apr 5 16:49:45 2023
image captured in logfile/log0.png
1/1 [=====] - 1s 986ms/step
logfile/log0.png : Bad_Bean
Time required for inference : 1.6649892330169678 seconds

object detected at Wed Apr 5 16:49:53 2023
image captured in logfile/log1.png
1/1 [=====] - 0s 129ms/step
logfile/log1.png : Good_Bean
Time required for inference : 0.4009981155395508 seconds

object detected at Wed Apr 5 16:50:01 2023
image captured in logfile/log2.png
1/1 [=====] - 0s 126ms/step
logfile/log2.png : Good_Bean
Time required for inference : 0.39699625968933105 seconds

object detected at Wed Apr 5 16:50:04 2023
image captured in logfile/log3.png
1/1 [=====] - 0s 132ms/step
logfile/log3.png : Bad_Bean
Time required for inference : 0.3910031318664551 seconds
    
```

Fig. 4. Parameter hasil pada *output terminal*.

Deployment pada Jetson nano dilakukan dengan menggunakan *environment* program yang sama dengan yang digunakan pada instrumen x86-64. Hasil observasi langsung pada sampel awal di Fig. 5 menunjukkan anomali sistem, yaitu terdapat *buffer* citra yang diakuisisi. *Buffer* tersebut diteruskan menuju sistem klasifikasi, sehingga proses kerja dari program seakan sudah sesuai dengan rancangan *flowchart*. Namun, hal tersebut tidak sinkron dengan keadaan sebenarnya, yaitu saat seharusnya *frame* citra baru diakuisisi ketika sistem klasifikasi telah selesai dan terdapat objek yang terdeteksi. *Buffer frame* tersebut dapat disebabkan karena perbedaan optimasi perangkat keras, seperti ketersediaan memori dan kecepatan akses. Selain itu, juga dapat terjadi akibat perbedaan set instruksi khusus yang didukung oleh arsitektur x86-64 dengan ARM64 yang berpengaruh terhadap *buffer frame* dalam proses akuisisi citra, sehingga perbedaan pada cara CPU menangani operasi memori atau penggunaan register dapat berpengaruh terhadap kinerja dan pengaturan *buffer frame*.



Fig. 5. Log anomali akuisisi citra (*buffer frame*).

Persoalan *buffer frame* yang terjadi saat pengimplementasian program pada Jetson Nano dapat diatasi dengan melakukan rekayasa dan optimasi terhadap perangkat lunak, yaitu dengan melakukan modifikasi pada program akuisisi citra sebelum sensor pada modul kamera menerima input citra dan melakukan deteksi objek pada *frame* citra. Modifikasi program tersebut dilakukan dengan menambahkan fungsi yang tersedia pada *library* OpenCV yaitu `cap.set(cv2.CAP_PROP_BUFFERSIZE, 1)` dan `cap.grab` sebelum melakukan pembacaan citra melalui fungsi `ret, frame = cap.read()`. Fungsi tersebut akan mengontrol jumlah *frame* yang disimpan sebelum dibaca, yaitu dilakukan limitasi menjadi 1 *frame* citra. Fungsi `grab` akan mengambil *frame* berikutnya tanpa menyimpan dahulu dalam *buffer*, sehingga *frame* baru akan dibaca tanpa disimpan dahulu dalam *buffer*. Teknik ini terbukti ampuh untuk mengatasi persoalan *buffer frame* dan meminimalisir *latency* citra yang diakuisisi, dibuktikan pada sampel pengujian pada *good bean* dan *bad bean* yang ditampilkan Fig. 6.





Fig. 6. Sampel log file akuisisi citra Jetson Nano tanpa buffer frame.

Proses pengujian dilakukan dengan pengecekan 104 file log citra biji kopi berkualitas baik dan cacat yang berhasil diakuisisi oleh sistem deteksi objek yang dikembangkan dan berjalan pada Jetson Nano. Pengujian sesi pertama menggunakan biji kopi berkualitas baik yang telah dilakukan validasi dari segi tampilan dan ukuran biji kopi yang cenderung seragam, kemudian pengujian sesi selanjutnya menggunakan biji kopi cacat yang telah divalidasi dan memiliki ukuran dan bentuk tampilan beragam. Adapun temuan dari hasil pengujian berupa objek yang terakuisisi dengan baik dan objek yang mengalami malfungsi akuisisi citra, hal ini disajikan dalam data pada Table 2 yang memberikan gambaran komprehensif terhadap data asli yang disertai persentase total dari setiap kategori.

Table 2. Hasil pengujian sistem deteksi objek pada Jetson Nano

Objek	Terakuisisi dengan baik	Malfungsi akuisisi	Jumlah
<i>Good Bean</i>	49	1	50
<i>Bad Bean</i>	48	6	54
Total	97 (93.27%)	7 (6.73%)	104 (100%)

Malfungsi yang terjadi merupakan data dari log1 hingga log104, log0 tidak disertakan karena merupakan malfungsi akibat kalibrasi bukaan sensor kamera. Malfungsi yang terjadi antara lain citra bergerak yang mengalami blur (buram) dan citra objek biji kopi yang mengalami selip pada mekanik sistem yang terakuisisi. Hasil observasi pada objek yang citranya mengalami blur disebabkan karena spesifikasi *roller shutter* pada sensor webcam yang digunakan tidak dapat mengimbangi proses akuisisi citra dari objek yang bergerak, sehingga citra yang terakuisisi tersebut mengalami *jello effect*. Adapun pada eksperimen lainya juga didapati malfungsi akuisisi citra akibat citra dari objek yang tidak memenuhi *threshold*, hal ini terjadi pada objek biji kopi yang cenderung berwarna kehitaman maupun objek biji kopi dan objek asing yang ukurannya kurang dari ambang batas *masking* dari total piksel dalam *frame*. Agar objek yang tidak memenuhi *threshold* HSV dapat diakuisisi citranya, diperlukan bantuan menggunakan objek tambahan yang serupa dengan *background* ataupun serupa jenisnya dengan kualitas objek biji kopi secara visual untuk memenuhi *range threshold* HSV dan dapat diidentifikasi oleh sistem klasifikasi dengan baik. Sampel masing masing citra yang mengalami malfungsi ditampilkan pada Fig. 7.

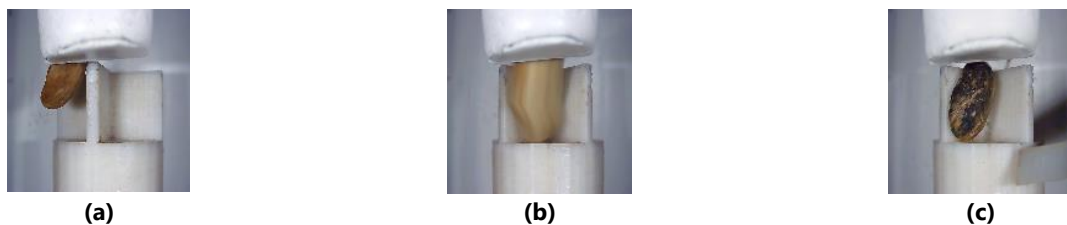


Fig. 7. Sampel log file yang mengalami malfungs (a) selip , (b) blur/jello effect, (c) tidak memenuhi threshold HSV

Hasil pengujian pada Table 2 menunjukkan keseluruhan sistem dapat bekerja dengan baik sesuai rancangan *flowchart* sistem deteksi objek setelah dilakukan modifikasi terhadap algoritma akuisisi citra, hal tersebut dapat divalidasi melalui sample log file pada Fig. 6. Keseluruhan sampel objek pada pengujian dapat diakuisisi dengan efektif sebanyak 93.27% dan beberapa sampel lainnya mengalami malfungsi akuisisi citra sebanyak 6.73% dari total 104 log file citra yang terakuisisi sistem. Perlu dilakukan perbaikan dan pengembangan terhadap kelemahan sistem yang terdapat pada temuan saat pengujian berlangsung, agar sistem klasifikasi yang disokong sistem deteksi objek yang dirancang dapat bekerja dengan efektif serta memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

4. CONCLUSION

Sistem deteksi objek menggunakan metode HSV *color filter* telah berhasil dibangun pada Jetson Nano (ARM64) dan sebuah *webcam* menggunakan *framework* OpenCV *python*. Sistem telah sesuai dengan rancangan *flowchart* setelah memodifikasi algoritma program yaitu menambahkan fungsi optimasi terhadap *buffer size* dan *grab frame* sebelum melakukan pembacaan citra. Hasil pengujian 104 *log file* citra yang diakuisisi menunjukkan sebanyak 93.27% objek berhasil diakuisisi citranya dengan efektif, dan sebanyak 6.73% mengalami malfungsi akuisisi citra. Perlu dilakukan pengembangan metode sistem deteksi objek agar keseluruhan objek dapat terakuisisi, serta penggunaan modul kamera berspesifikasi *global shutter* agar citra dari objek bergerak tidak mengalami *jello effect*.

5. ACKNOWLEDGMENTS

Penelitian ini tidak terlepas dari kontribusi dan dukungan seluruh pihak terhadap Philocoffe.AI *developer team* (Putu Althea, Henrico Aldy, Ahmad Ersam, Gede Khidani), serta keluarga besar ROBOTEC Udayana dan IEEE SB Udayana pada prestasi dalam kompetisi IEEE *Mile Zero Project* ITB SB dan Schneider *Go Green* 2021.

6. REFERENCES

- Al-Saffar, A. A. M., Tao, H., & Talab, M. A. (2017). Review of Deep Convolution Neural Network in Image Classification. *2017 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET), 2018-January*, 26–31. <https://doi.org/10.1109/ICRAMET.2017.8253139>
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Statistik Kopi Indonesia 2020*.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). *SNI 01-2907-2008 Biji kopi*.
- Dwi, L., Prabowo, A., Riswantini, D., & Pusat, S. Y. (2010). Pengembangan Sistem Kendali Waktu Nyata dengan Embedded System Berbasis Embedded Linux. *Industrial Electronic Seminar*.
- Frasiska, I. G. F. (2020). *Rancang Bangun Alat Pemisah Buah Kopi dengan Metode Filter Warna Hue Saturation Value (HSV)* [Udayana University].
- Fukai, H., Furukawa, J., Katsuragawa, H., Pinto, C., & Afonso, C. (2018). Classification of Green Coffee Beans by Convolutional Neural Network and its Implementation on Raspberry Pi and Camera Module. / *TAJST*, 1.
- Gope, H. L., & Fukai, H. (2022). Peaberry and Normal Coffee Bean Classification Using CNN, SVM, and KNN: Their Implementation in and The Limitations of Raspberry Pi 3. *AIMS Agriculture and Food*, 7(1), 149–167. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2022010>
- Haile, M., & Hee Kang, W. (2020). The Harvest and Post-Harvest Management Practices' Impact on Coffee Quality. In *Coffee - Production and Research*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.89224>
- Huang, N. F., Chou, D. L., Lee, C. A., Wu, F. P., Chuang, A. C., Chen, Y. H., & Tsai, Y. C. (2020). Smart agriculture: real-time classification of green coffee beans by using a convolutional neural network. *IET Smart Cities*, 2(4), 167–172. <https://doi.org/10.1049/iet-smc.2020.0068>
- International Coffee Organization. (2021). *World Coffee Consumption*. <https://www.ico.org/prices/new-consumption-table.pdf>
- International Coffee Organization. (2022). *Coffee Market Report - August 2022*. <https://www.ico.org/documents/cy2021-22/cmr-0822-e.pdf>
- Jo, J., Jeong, S., & Kang, P. (2020). Benchmarking GPU-Accelerated Edge Devices. *2020 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*, 117–120. <https://doi.org/10.1109/BigComp48618.2020.00-89>
- Joblove, G. H., & Greenberg, D. (1978). Color Spaces for Computer Graphics. *Proceedings of the 5th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques - SIGGRAPH '78*, 20–25. <https://doi.org/10.1145/800248.807362>
- OpenCV Team. (2022). *OpenCV*. <https://opencv.org/>
- Rabbani, H. A., Rahman, M. A., & Rahayudi, B. (2021). Perbandingan Ruang Warna RGB dan HSV dalam Klasifikasi Kematangan Biji Kopi. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 5(6), 2243–2248. <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Setiawan, W., & Asri, S. A. (2005). Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik Pada Pengenalan Angka Tulisan Tangan. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 4(2).
- 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>
- Teixeira, A., Brando, C., Thomaziello, R., & Teixeira, R. (2005). *Espresso Coffee: The Science of Quality* (A. Illy & R.

Viani, Eds.; 2nd ed.). Elsevier Academic Press. <https://www.elsevier.com/books/espresso-coffee/illy/978-0-12-370371-2>