

BAB VII

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan terhadap sistem deteksi dan klasifikasi tanda mula menggunakan *two-stage deep learning*, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Penerapan algoritma YOLOv8s dengan teknik *transfer learning* terbukti efektif dalam melakukan deteksi dan pemotongan wilayah tanda mula pada partitur bernotasi balok. Model detektor yang dikembangkan berhasil membedakan tanda mula dengan *accidentals* yang muncul di tengah bar. Hal ini dibuktikan dengan nilai evaluasi *Precision* 0,994, *Recall* 0,947, *mAP50* 0,847, dan *mAP50-95* sebesar 0,784 pada data *testing*.
2. Algoritma YOLOv8s menunjukkan kemampuan yang baik dalam mendeteksi tanda mula dalam berbagai variasi posisi visual pada partitur bernotasi balok. Penggunaan dataset yang mengandung augmentasi rotasi dan distorsi selama proses *training* memungkinkan model untuk mengenali objek walaupun terdapat kemiringan pada hasil *scan* partitur.
3. Arsitektur *Convolutional Neural Network* yang dikembangkan mampu melakukan klasifikasi terhadap 15 jenis tanda mula dengan tingkat akurasi 100% pada data uji. Penggunaan data sintesis yang di-generate oleh *library* Music21 dan diaugmentasi dengan *library* Albumentations berhasil menghasilkan model klasifikasi yang baik tanpa menggunakan ribuan data gambar asli.
4. Integrasi sistem antara YOLOv8s dan CNN yang dilatih dengan *negative samples* berhasil menangani partitur tanpa tanda mula dengan tepat. Sistem dapat menyimpulkan bahwa ketiadaan objek deteksi (tanda mula) merepresentasikan nada dasar C mayor. Selain itu, konversi model CNN ke format TensorFlow Lite (TFLite) juga mengoptimalkan kerja sistem saat digunakan di-*environment* CPU-only dan menghasilkan *inference time* dikisaran 30 ms.

5. Secara teoretis, penelitian ini membuktikan bahwa arsitektur *two-stage deep learning* (pemisahan deteksi dengan YOLOv8 dan klasifikasi dengan CNN) efektif dalam menangani masalah *small object detection* pada dokumen musik. Hal ini memperkaya literatur OMR bahwa untuk objek musik, pemisahan tugas deteksi dan klasifikasi dapat menghasilkan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan pendekatan *single-stage* pada dataset terbatas.
6. Secara praktis, sistem ini dapat diimplementasikan sebagai sistem pendukung dalam OMR. Dengan kemampuan mendeteksi nada dasar baik untuk file hasil *scan* maupun secara *real-time* lewat kamera, proses digitalisasi partitur dapat dilakukan dengan konteks nada/*pitch* yang tepat. Selain itu, sistem ini juga dapat digunakan sebagai media pembelajaran untuk penyanyi paduan suara agar dapat dengan cepat memverifikasi nada dasar partitur fisik tanpa perlu membaca manual secara mendalam.

B. Saran

Penelitian yang telah dilakukan ini masih memiliki banyak ruang untuk pengembangan lebih lanjut. Berdasarkan kekurangan dan keterbatasan yang ada selama proses penelitian, penulis mengajukan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Menambahkan variasi dataset yang mencakup partitur dengan tulisan tangan atau teks partitur lama untuk menguji kemampuan model dalam mendeteksi dan mengklasifikasi partitur dengan gaya penulisan yang variatif.
2. Mengembangkan sistem ini lebih lanjut untuk mendeteksi tanda birama serta membaca notasi balok secara utuh, sehingga dapat menjadi sistem *Optical Music Recognition* (OMR) yang lengkap.
3. Melatih model untuk mengenali tanda mula pada *clef* yang jarang digunakan seperti *alto/tenor clef* untuk memperluas cakupan penggunaan model pada musik orkestra.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 : TABEL HASIL PENGUJIAN SISTEM

Nama File	Jumlah Tanda Mula	Terdeteksi	Klasifikasi Benar	Akurasi Deteksi	Akurasi Klasifikasi
test (1).jpg	4	4	4	100%	100%
test (2).jpg	6	6	6	100%	100%
test (3).jpg	4	4	4	100%	100%
test (4).jpg	4	4	4	100%	100%
test (5).jpg	0	0	0	100%	100%
test (6).jpg	0	0	0	100%	100%
test (7).jpg	4	4	4	100%	100%
test (8).jpg	4	4	4	100%	100%
test (9).jpg	0	0	0	100%	100%
test (10).jpg	0	0	0	100%	100%
test (11).jpg	4	4	3	100%	75%
test (12).jpg	4	4	4	100%	100%
test (13).jpg	6	6	6	100%	100%
test (14).jpg	8	8	8	100%	100%
test (15).jpg	5	5	5	100%	100%
test (16).jpg	5	5	5	100%	100%
test (17).jpg	6	6	6	100%	100%
test (18).jpg	4	4	4	100%	100%
test (19).jpg	6	6	6	100%	100%
test (20).jpg	4	4	3	100%	75%
test (21).jpg	5	5	3	100%	60%
test (22).jpg	7	7	7	100%	100%
test (23).jpg	7	7	7	100%	100%
test (24).jpg	4	4	3	100%	75%
test (25).jpg	4	4	3	100%	75%
test (26).jpg	6	6	6	100%	100%
test (27).jpg	6	6	6	100%	100%

test (28).jpg	8	8	8	100%	100%
test (29).jpg	8	8	8	100%	100%
test (30).jpg	5	5	5	100%	100%
test (31).jpg	5	5	5	100%	100%
test (32).jpg	6	6	6	100%	100%
test (33).jpg	6	6	6	100%	100%
test (34).jpg	4	4	4	100%	100%
test (35).jpg	8	8	8	100%	100%
test (36).jpg	8	8	8	100%	100%
test (37).jpg	4	4	4	100%	100%
test (38).jpg	4	4	4	100%	100%
test (39).jpg	7	7	7	100%	100%
test (40).jpg	6	6	6	100%	100%
test (41).jpg	4	4	4	100%	100%
test (42).jpg	5	5	5	100%	100%
test (43).jpg	6	6	6	100%	100%
test (44).jpg	5	5	5	100%	100%
test (45).jpg	8	8	8	100%	100%
test (46).jpg	6	6	6	100%	100%
test (47).jpg	4	4	3	100%	75%
test (48).jpg	4	4	3	100%	75%
test (49).jpg	8	8	8	100%	100%
test (50).jpg	8	8	8	100%	100%
50 Gambar	254	254	246	100%	96%

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wilfihani, “Fungsi Seni Musik dalam Kehidupan Manusia,” *ANTHROPOS: Jurnal Antropologi Sosial dan Budaya*, vol. 2, no. 1, pp. 101–107, 2016, [Online]. Available: <http://jurnal.unimed.ac.id/2012/index.php/anthropos>
- [2] M. L. West, “The Babylonian Musical Notation and the Hurrian Melodic Texts,” *Music Lett.*, vol. 75, no. 2, pp. 161–179, 1994.
- [3] E. Shatri and G. Fazekas, “Optical Music Recognition: State of the Art and Major Challenges,” Jun. 2020, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2006.07885>
- [4] B. Denada, *Teori Dasar Musik*. Jantho, 2019.
- [5] D. Bainbridge and T. Bell, “The Challenge of Optical Music Recognition,” 2001.
- [6] J. Calvo-Zaragoza, J. J. Valero-Mas, and A. Pertusa, “End-to-end Optical Music Recognition Using Neural Networks,” 2017. [Online]. Available: <http://lilypond.org/>
- [7] A. Fornés, A. Dutta, A. Gordo, and J. Lladós, “CVC-MUSCIMA: A ground truth of handwritten music score images for writer identification and staff removal,” *International Journal on Document Analysis and Recognition*, vol. 15, no. 3, pp. 243–251, Sep. 2012, doi: 10.1007/s10032-011-0168-2.
- [8] F. Cheng, H. Zhang, W. Fan, and B. Harris, “Image Recognition Technology Based on Deep Learning,” *Wirel. Pers. Commun.*, vol. 102, no. 2, pp. 1917–1933, Sep. 2018, doi: 10.1007/s11277-018-5246-z.
- [9] W. Rawat and Z. Wang, “Deep Convolutional Neural Networks for Image Classification: A Comprehensive Review,” *Neural Comput.*, vol. 29, pp. 2352–2449, 2017, doi: https://doi.org/10.1162/neco_a_00990.
- [10] T. Wiatowski and H. Bölcskei, “A Mathematical Theory of Deep Convolutional Neural Networks for Feature Extraction,” *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 64, pp. 1845–1866, 2015.
- [11] A. Rebelo, I. Fujinaga, F. Paszkiewicz, A. R. S. Marcal, C. Guedes, and J. S. Cardoso, “Optical music recognition: state-of-the-art and open issues,” *Int. J. Multimed. Inf. Retr.*, vol. 1, no. 3, pp. 173–190, Oct. 2012, doi: 10.1007/s13735-012-0004-6.
- [12] Y. Lecun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, May 2015, doi: 10.1038/nature14539.

- [13] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, and A. Farhadi, "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," in *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 779–788. doi: 10.1109/CVPR.2016.91.
- [14] J. Calvo-Zaragoza, A.-J. Gallego, and A. Pertusa, "Recognition of Handwritten Music Symbols with Convolutional Neural Codes," in *14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR)*, Kyoto, Japan, 2017, pp. 691–696. doi: 10.1109/ICDAR.2017.118.
- [15] A. Pacha, J. Hajič, and J. Calvo-Zaragoza, "A baseline for general music object detection with deep learning," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 8, no. 9, Aug. 2018, doi: 10.3390/app8091488.
- [16] A. Pacha, K. Y. Choi, B. Couasnon, Y. Riquebourg, R. Zanibbi, and H. Eidenberger, "Handwritten music object detection: Open issues and baseline results," in *Proceedings - 13th IAPR International Workshop on Document Analysis Systems, DAS 2018*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Jun. 2018, pp. 163–168. doi: 10.1109/DAS.2018.51.
- [17] S. A. Nawade, M. Hangarge, and S. S. Rumma, "Deep learning-based approach for old handwritten music symbol recognition," *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 69, no. 7, pp. 208–214, Jul. 2021, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V69I7P228.
- [18] C. Setyo and G. P. Kusuma, "Recognition of music symbol notation using convolutional neural network," *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 14, no. 2, pp. 2055–2067, Apr. 2024, doi: 10.11591/ijece.v14i2.pp2055-2067.
- [19] D. R. Nugroho and A. Zahra, "Musical note position and duration recognition model in optical music recognition using convolutional neural network," *Journal of Image and Graphics(United Kingdom)*, vol. 12, no. 1, pp. 32–39, 2024, doi: 10.18178/joig.12.1.32-39.
- [20] E. Gould, *Behind Bars: The Definitive Guide to Music Notation*. in Faber Edition. London: Faber Music, 2011. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=NNHdHAAACAAJ>
- [21] R. C. . Gonzalez and R. E. . Woods, *Digital image processing*. Pearson, 2018.
- [22] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms," *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 9, no. 1, pp. 62–66, Jan. 1979.

- [23] N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, and R. Salakhutdinov, "Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 15, pp. 1929–1958, 2014.
- [24] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. Massachusetts: MIT Press, 2016.
- [25] K. O'Shea and R. Nash, "An Introduction to Convolutional Neural Networks," Nov. 2015, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1511.08458>
- [26] B. Ding, H. Qian, and J. Zhou, "Activation functions and their characteristics in deep neural networks," in *2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 2018, pp. 1836–1841. doi: 10.1109/CCDC.2018.8407425.
- [27] S. Mehra, G. Raut, R. Das Purkayastha, S. K. Vishvakarma, and A. Biasizzo, "An Empirical Evaluation of Enhanced Performance Softmax Function in Deep Learning," *IEEE Access*, vol. 11, pp. 34912–34924, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3265327.
- [28] D. P. Kingma and J. Ba, "Adam: A Method for Stochastic Optimization," Jan. 2017, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1412.6980>
- [29] Z.-Q. Zhao, P. Zheng, S.-T. Xu, and X. Wu, "Object Detection With Deep Learning: A Review," *IEEE Trans. Neural Netw. Learn. Syst.*, vol. 30, no. 11, pp. 3212–3232, 2019, doi: 10.1109/TNNLS.2018.2876865.
- [30] T. Fawcett, "An introduction to ROC analysis," *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 27, no. 8, pp. 861–874, 2006, doi: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010>.
- [31] R. Padilla, S. L. Netto, and E. A. B. Da Silva, "A Survey on Performance Metrics for Object-Detection Algorithms," in *2020 International Conference on Systems, Signals and Image Processing*, doi: 10.1109/IWSSIP48289.2020.

