

**Pengenalan Ekspresi Wajah Peserta Didik di Ruang
Kelas Menggunakan Vision Transformer (ViT)**

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi sebagian dari syarat memperoleh gelar Sarjana Komputer Program
Studi Ilmu Komputer



Oleh

Muhammad Fakhri Fadhlurrahman

2105997

**PROGRAM STUDI ILMU KOMPUTER
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2025**

Pengenalan Ekspresi Wajah Peserta Didik di Ruang Kelas Menggunakan Vision Transformer (ViT)

Oleh

Muhammad Fakhri Fadhlurrahman

2105997

Sebuah skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Komputer pada Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Muhammad Fakhri Fadhlurrahman

Universitas Pendidikan Indonesia

Juli 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang

Skripsi ini tidak diperkenankan untuk diperbanyak, baik sebagian maupun seluruhnya, dalam bentuk cetakan, fotokopi, atau media lainnya tanpa izin tertulis dari penulis

LEMBAR PENGESAHAN

MUHAMMAD FAKHRI FADHLURRAHMAN

2105997

**PENGENALAN EKSPRESI WAJAH PESERTA DIDIK DI RUANG KELAS
MENGUNAKAN VISION TRANSFORMER (VIT)**

DISETUJUI DAN DISAHKAN OLEH TIM PEMBIMBING:

Pembimbing I,



Prof. Dr. H. Munir, M.IT.
NIP. 196603252001121001

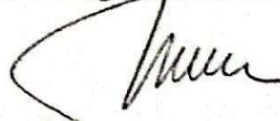
Pembimbing II,



Yaya Wihardi, M.Kom.
NIP. 198903252015041001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Ilmu Komputer



Dr. Muhammad Nursalman, S.Si., M.T.
NIP. 197909292006041002

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Fakhri Fadhlurrahman
NIM : 2105997
Program Studi : Ilmu Komputer
Judul Karya : Pengenalan Ekspresi Wajah Peserta Didik di Ruang Kelas
Menggunakan Vision Transformer (ViT)

Dengan ini saya menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil pekerjaan saya sendiri. Saya menjamin bahwa seluruh isi karya ini, baik sebagian maupun keseluruhan, bukan merupakan plagiarisme dari karya orang lain, kecuali pada bagian-bagian yang secara tegas dinyatakan dan disebutkan sumbernya dengan jelas. Apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika akademik atau unsur plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Pendidikan Indonesia.

Bandung, 31 Juli 2025

Yang Membuat Pernyataan,



Muhammad Fakhri Fadhlurrahman

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul *Pengenalan Ekspresi Wajah Peserta Didik di Ruang Kelas Menggunakan Vision Transformer (ViT)*.

Proposal ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi di Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Pendidikan Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi penerapan teknologi Vision Transformer dalam mendeteksi ekspresi wajah peserta didik, yang diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi pendidikan berbasis kecerdasan buatan.

Penulis menyadari bahwa penyusunan proposal ini tidak akan berhasil tanpa dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua atas doa dan dukungan yang tiada henti selama ini, dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan masukan berharga sepanjang proses penyusunan proposal, serta teman-teman di Program Studi Ilmu Komputer yang selalu memberikan semangat dan dukungan yang berarti.

Semoga proposal ini dapat memberikan manfaat, baik bagi pengembangan teknologi pendidikan maupun bagi penelitian-penelitian di masa mendatang. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan penelitian ini.

Bandung, 31 Juli 2025

Muhammad Fakhri Fadhlurrahmaan

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa pencapaian ini tidak lepas dari dukungan dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, baik secara moral maupun material. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang telah memberikan dukungan penuh, baik secara spiritual melalui doa maupun bantuan langsung berupa semangat dan fasilitas selama proses penyusunan skripsi.
2. Seluruh rekan mahasiswa Ilmu Komputer angkatan 2021 yang telah memberikan bantuan, baik secara langsung maupun tidak langsung, serta turut berjuang bersama dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Dr. Munir, M.IT. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan berharga dalam proses penulisan skripsi ini.
4. Bapak Yaya Wihardi, M.Kom. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing penulis sejak awal hingga skripsi ini selesai disusun.
5. Bapak Muhammad Nursalman, M.T. selaku Ketua Program Studi Ilmu Komputer Universitas Pendidikan Indonesia yang telah memberikan dukungan akademik selama masa studi.
6. Bapak Dr. Yudi Wibisono, M.T. selaku Dosen Wali yang telah membimbing penulis selama menempuh perkuliahan.
7. Seluruh dosen dan staf di Departemen Pendidikan Ilmu Komputer Universitas Pendidikan Indonesia yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, namun telah memberikan ilmu, bantuan, dan dukungan selama masa studi.
8. Semua pihak lainnya yang turut membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyusunan skripsi ini.

PENGENALAN EKSPRESI WAJAH PESERTA DIDIK DI RUANG KELAS MENGGUNAKAN VISION TRANSFORMER (ViT)

Oleh

Muhammad Fakhri Fadhlurrahman – mfakhrif@upi.edu

2105997

ABSTRAK

Ekspresi wajah merupakan bentuk komunikasi non-verbal yang penting dalam memahami kondisi emosional peserta didik di ruang kelas. Pemahaman ini dapat membantu pendidik menyesuaikan metode pengajaran sesuai dengan keadaan emosional siswa, sehingga proses belajar mengajar menjadi lebih efektif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menerapkan sistem pengenalan ekspresi wajah secara *real-time* di ruang kelas dengan memanfaatkan arsitektur Vision Transformer (ViT). Dua pendekatan sistem dikembangkan dalam penelitian ini: sistem *dual-stage* yang memanfaatkan kombinasi model deteksi wajah YOLOv11s dan model pengenalan ekspresi wajah *HybridViT (ResNet-50)*, serta sistem *single-stage* yang menggunakan model YOLOv11s untuk langsung mendeteksi emosi dari citra wajah. *Dataset* yang digunakan meliputi *Face Expression Recognition Dataset (RAF-DB)* dan *Facial Expression in Classroom*, yang masing-masing digunakan untuk pelatihan awal dan *fine-tuning* model. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem *dual-stage* memiliki performa klasifikasi yang lebih baik dengan nilai *mean Average Precision (mAP)* sebesar 0,2846, dibandingkan sistem *single-stage* dengan *mAP* sebesar 0,1603. Sebaliknya, dari segi efisiensi inferensi, sistem *single-stage* lebih unggul dengan latensi rata-rata per wajah sebesar 0,290 ms (6.539 FPS) di GPU dan 1,862 ms (545 FPS) di CPU, dibandingkan sistem *dual-stage* yang memiliki latensi lebih tinggi. Selain itu, evaluasi menunjukkan ketidakseimbangan performa antar kelas emosi akibat distribusi data yang tidak merata. Secara keseluruhan, kedua pendekatan menunjukkan potensi yang menjanjikan untuk implementasi sistem pengenalan ekspresi wajah di ruang kelas. Keduanya masih dapat ditingkatkan dari segi akurasi, generalisasi antar emosi, serta efisiensi waktu inferensi melalui peningkatan kualitas *dataset* dan eksplorasi teknik pelatihan lanjutan.

Kata Kunci: *Dual-Stage*, Pengenalan Ekspresi Wajah, *Real-Time*, Ruang Kelas, *Single-Stage*, Vision Transformer, YOLOv11s

FACIAL EXPRESSION RECOGNITION OF STUDENTS IN THE CLASSROOM USING VISION TRANSFORMER (ViT)

By

Muhammad Fakhri Fadhlurrahman – mfakhrif@upi.edu

2105997

ABSTRACT

Facial expressions serve as an essential form of non-verbal communication in understanding students' emotional states in the classroom. This understanding enables educators to adjust their teaching methods according to students' emotions, thus improving the effectiveness of the learning process. This study aims to develop and implement a real-time facial expression recognition system in classroom settings by utilizing the Vision Transformer (ViT) architecture. Two system approaches were developed: a dual-stage system combining a YOLOv11s face detection model with a HybridViT (ResNet-50) facial expression recognition model, and a single-stage system using a YOLOv11s model to directly detect emotions from facial images. The datasets used include the Real-world Affective Faces Database (RAF-DB) and the Facial Expression in Classroom Dataset, which were employed for model training and fine-tuning, respectively. Evaluation results demonstrate that the dual-stage system achieves superior classification performance with a mean Average Precision (mAP) of 0.2846, compared to the single-stage system's mAP of 0.1603. However, in terms of inference efficiency, the single-stage system outperforms the dual-stage system, achieving a lower average latency per face of 0.290 ms (6.539 FPS) on GPU and 1.862 ms (545 FPS) on CPU. The evaluation also highlights an imbalance in classification performance across emotion classes, primarily due to the uneven distribution of training and fine-tuning data. Overall, both approaches exhibit promising potential for facial expression recognition applications in classroom environments. Further improvements in accuracy, emotional generalization, and computational efficiency can be achieved through enhanced dataset quality, balanced emotion representation, and exploration of advanced training techniques.

Keywords: *Classroom, Dual-Stage, Facial Expression Recognition, Real-Time, Single-Stage, Vision Transformer, YOLOv11s.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan Skripsi	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Pengenalan Ekspresi Wajah	7
2.2. Pengolahan Citra Digital	9
2.3. Deep Learning.....	9
2.4. Transfer Learning.....	11
2.5. Vision Transformer (ViT).....	12
2.6. You Only Look Once (YOLO)	13
2.7. Penelitian Terkait	15
BAB III METODE PENELITIAN	18
3.1. Rancangan Penelitian	18
3.2. Pengumpulan Data	18
3.3. Pra-pemrosesan Data.....	21
3.4. Arsitektur Model	25
3.5. Alur Penelitian	28

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	34
4.1. Lingkungan Penelitian	34
4.2. Implementasi dan Eksekusi.....	35
4.3. Evaluasi dan Pembahasan	46
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	62
5.1. Kesimpulan	62
5.2. Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Cuplikan Isi Dataset RAF-DB	19
Gambar 3.2. Cuplikan Isi Dataset Face Detection Dataset	20
Gambar 3.3. Cuplikan isi dataset Facial Expression in Classroom.....	20
Gambar 3.4. Diagram Arsitektur Model HybridViT ResNet-50	26
Gambar 4.1. 10 Epoch Terakhir dari Hasil Eksekusi Pelatihan Model HybridViT	37
Gambar 4.2. Grafik Pelatihan Model HybridViT selama 20 Epoch.....	37
Gambar 4.3. 4 Epoch Terakhir dan Hasil Fine-Tuning Model YOLOv11s (Deteksi Wajah).....	39
Gambar 4.4. Grafik Hasil Fine-Tuning Model YOLOv11s (Deteksi Wajah) yang Dihasilkan oleh Ultralytics.....	39
Gambar 4.5. 6 Epoch Terakhir dari Hasil Eksekusi Fine-Tuning Model HybridViT	41
Gambar 4.6. 5 Epoch Terakhir dan Ringkasan dari Hasil Eksekusi Fine-Tuning Model YOLOv11s (Deteksi Emosi)	44
Gambar 4.7. Grafik Hasil Fine-Tuning Model YOLOv11s (Deteksi Emosi) yang Dihasilkan oleh Ultralytics.....	44
Gambar 4.8. Confusion Matrix dari Evaluasi Model HybridViT	47
Gambar 4.9. Classification Report dari Model HybridViT yang Telah Dilatih....	48
Gambar 4.10. Hasil Tes Klasifikasi dan Inferensi 3 Gambar Emosi oleh Model HybridViT	49
Gambar 4.11. Visualisasi Label (Atas) dan Hasil Prediksi (Bawah) Model YOLOv11s (Deteksi Wajah) pada Batch Gambar Dataset Face Detection Dataset	50
Gambar 4.12. Pengujian Manual Model YOLOv11s (Deteksi Wajah) pada 5 Gambar.....	51
Gambar 4.13. Hasil Evaluasi Performa Model HybridViT dalam Klasifikasi Emosi setelah Fine-Tuning	52
Gambar 4.14. Evaluation Metrics dari Pengujian GPU dan CPU.....	53
Gambar 4.15. Confusion Matrix dari Hasil Pengujian Pipeline.....	55

Gambar 4.16. Hasil Pengujian FER pada Dua Gambar dari Sesi 3	56
Gambar 4.17. Hasil Evaluasi dan Metrik-Metrik Performa Model GPU dan CPU pada Dataset Sesi 3.....	58
Gambar 4.18. Confusion Matrix dari Hasil Pengujian Model	60
Gambar 4.19. Visualisasi Label (Atas) dan Hasil Prediksi (Bawah) Model YOLOv11s (Deteksi Emosi) pada Batch Gambar Dataset Facial Expression in Classroom (Sesi 3)	61

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Pustaka yang Digunakan dalam Penelitian dan Versinya.....	35
Tabel 4.2. Jumlah Data Pelatihan untuk Setiap Emosi pada Dataset RAF-DB	47

DAFTAR PUSTAKA

- A., M. R. M. (2023). *Pemetaan dan Identifikasi Kesiapan Petik Tanaman Teh Berdasarkan Citra Drone Menggunakan Mask Region-Based Convolutional Neural Network (Mask R-CNN) dan Green Leaf Index (GLI)* [Universitas Pendidikan Indonesia]. <http://siad.cs.upi.edu/assets/files/65a4b203c369329936.pdf>
- Anggraini, A., & Zakaria, H. (2023). Penerapan Metode Deep Learning Pada Aplikasi Pembelajaran Menggunakan Sistem Isyarat Bahasa Indonesia Menggunakan Convolutional Neural Network (Studi Kasus: SLB-BC Mahardika Depok). *JURIHUM: Jurnal Inovasi Dan Humaniora*, 1(4), 452–464.
<https://jurnalmahasiswa.com/index.php/Jurihum/article/view/723/432>
- Batty, M., & Taylor, M. J. (2003). Early processing of the six basic facial emotional expressions. *Cognitive Brain Research*, 17(3), 613–620.
https://www.ece.uvic.ca/~bctill/papers/facerec/Batty_Taylor_2003.pdf
- Bengio, Y., Goodfellow, I., Courville, A., & others. (2017). *Deep learning* (Vol. 1). MIT press Cambridge, MA, USA.
https://www.academia.edu/download/62266271/Deep_Learning20200303-80130-1s42zvt.pdf
- Bhatt, D., Patel, C., Talsania, H., Patel, J., Vaghela, R., Pandya, S., Modi, K., & Ghayvat, H. (2021). CNN variants for computer vision: History, architecture, application, challenges and future scope. *Electronics*, 10(20), 2470. <https://www.mdpi.com/2079-9292/10/20/2470>
- Canedo, D., & Neves, A. J. R. (2019). Facial expression recognition using computer vision: A systematic review. *Applied Sciences*, 9(21), 4678. <https://www.mdpi.com/2076-3417/9/21/4678>
- Chaudhari, A., Bhatt, C., Krishna, A., & Mazzeo, P. L. (2022). ViTFER: facial emotion recognition with vision transformers. *Applied System Innovation*, 5(4), 80. <https://www.mdpi.com/2571-5577/5/4/80>
- Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., Gelly, S., &

- others. (2020). An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale. *ArXiv Preprint ArXiv:2010.11929*. <https://arxiv.org/pdf/2010.11929/1000>
- Faikar, N. R. (2020). *Pengenalan Emosi Manusia Menggunakan Log-Gabor Convolutional Networks Melalui Pendekatan Facial Region Segmentation* [Universitas Pendidikan Indonesia]. <http://siad.cs.upi.edu/assets/files/5f49e8fe6fec438740.pdf>
- Fakhar, S., Baber, J., Bazai, S. U., Marjan, S., Jasinski, M., Jasinska, E., Chaudhry, M. U., Leonowicz, Z., & Hussain, S. (2022). Smart classroom monitoring using novel real-time facial expression recognition system. *Applied Sciences*, 12(23), 12134. <https://www.mdpi.com/2076-3417/12/23/12134>
- Febriyanti, F. A. (2024). Image Processing Dengan Metode Convolutional Neural Network (Cnn) Untuk Deteksi Penyakit Kulit Pada Manusia. *Kohesi J. Sains Dan Teknol*, 3(10), 21–30. <https://ejournal.warunayama.org/index.php/kohesi/article/view/4088/3803>
- Frith, C. (2009). Role of facial expressions in social interactions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1535), 3453–3458. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC2781887/pdf/rstb20090142.pdf>
- Grafsgaard, J., Wiggins, J. B., Boyer, K. E., Wiebe, E. N., & Lester, J. (2013). Automatically recognizing facial expression: Predicting engagement and frustration. *Educational Data Mining 2013*. <https://cise.ufl.edu/research/learndialogue/pdf/LearnDialogue-Grafsgaard-EDM-2013.pdf>
- Gunawan, R. J., Irawan, B., & Setianingsih, C. (2021). Pengenalan Ekspresi Wajah Berbasis Convolutional Neural Network Dengan Model Arsitektur VGG16. *EProceedings of Engineering*, 8(5). <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/16400/16113>

- Guntoro, A. L. S., Julianto, E., & Budiyo, D. (2022). Pengenalan Ekspresi Wajah Menggunakan Convolutional Neural Network. *Jurnal Informatika Atma Jogja*, 3(2), 155–160. <https://ojs.uajy.ac.id/index.php/jiaj/article/download/6790/2839>
- Han, K., Wang, Y., Chen, H., Chen, X., Guo, J., Liu, Z., Tang, Y., Xiao, A., Xu, C., Xu, Y., & others. (2020). A survey on visual transformer. *ArXiv Preprint ArXiv:2012.12556*. <https://arxiv.org/pdf/2012.12556>
- Hikmatiar, H., Sya'bania, N., & Hamsa, B. (2024). Relation of Facial Expressions and Student Learning Outcomes in Face Recognition-Based Online Learning Article Info. *Jurnal Kajian Teknologi Pendidikan*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.17977/um039v9i12024p1>
- Huang, Y., Chen, F., Lv, S., & Wang, X. (2019). Facial expression recognition: A survey. *Symmetry*, 11(10), 1189. <https://www.mdpi.com/2073-8994/11/10/1189>
- Julika, S., & Setiyawati, D. (2019). Kecerdasan emosional, stres akademik, dan kesejahteraan subjektif pada mahasiswa. *Gadjah Mada Journal of Psychology (GamaJoP)*, 5(1), 50–59. <https://journal.ugm.ac.id/gamajop/article/download/47966/24933>
- Khan, S., Naseer, M., Hayat, M., Zamir, S. W., Khan, F. S., & Shah, M. (2022). Transformers in vision: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 54(10s), 1–41. <https://arxiv.org/pdf/2101.01169>
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://hal.science/hal-04206682/document>
- Li, S., & Deng, W. (2020). Deep facial expression recognition: A survey. *IEEE Transactions on Affective Computing*, 13(3), 1195–1215. <https://arxiv.org/pdf/1804.08348>
- Minaee, S., Minaei, M., & Abdolrashidi, A. (2021). Deep-emotion: Facial expression recognition using attentional convolutional network. *Sensors*, 21(9), 3046. <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/9/3046>
- Moshayedi, A. J., Roy, A. S., Kolahdooz, A., & Shuxin, Y. (2022). Deep learning application pros and cons over algorithm. *EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics*, 1(1), e7.

- https://www.academia.edu/download/115942971/2022_JR_Deep_Learning_Application_Pros_and_Cons_Over.pdf
- Nurhawanti, R. (2019). *Sistem Pendeteksi Sepeda Motor Pelanggar Marka Jalan Menggunakan Metode Convolutional Neural Networks (CNNs)* [Universitas Pendidikan Indonesia]. <http://siad.cs.upi.edu/assets/files/5cd8ea27df49828119.pdf>
- 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. https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/papers/Redmon_You_Only_Look_CVPR_2016_paper.pdf
- Sang, D. V., Van Dat, N., & others. (2017). Facial expression recognition using deep convolutional neural networks. *2017 9th International Conference on Knowledge and Systems Engineering (KSE)*, 130–135. https://www.researchgate.net/profile/Dinh-Sang/publication/321257241_Facial_expression_recognition_using_deep_convolutional_neural_networks/links/5b12a7824585150a0a619d6c/Facial-expression-recognition-using-deep-convolutional-neural-networks.pdf
- Sunardi, S., Fadlil, A., & Prayogi, D. (2022). Sistem Pengenalan Wajah pada Keamanan Ruangan Berbasis Convolutional Neural Network. *J-SAKTI (Jurnal Sains Komputer Dan Informatika)*, 6(2), 636–647. <https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jsakti/article/viewFile/480/453>
- Tian, Y., Kanade, T., & Cohn, J. F. (2011). Facial expression recognition. In *Handbook of face recognition* (pp. 487–519). Springer. http://www.cs.usfca.edu/~byuksel/affectivecomputing/readings/facial_expression/tian2011.pdf
- Torrey, L., & Shavlik, J. (2010). Transfer learning. In *Handbook of research on machine learning applications and trends: algorithms, methods, and techniques* (pp. 242–264). IGI Global Scientific Publishing.

<https://ftp.cs.wisc.edu/machine-learning/shavlik-group/torrey.handbook09.pdf>

- Tyagi, V. (2018). *Understanding digital image processing*. CRC Press.
https://www.researchgate.net/profile/Vipin-Tyagi-2/publication/328120952_Understanding_Digital_Image_Processing/links/5bda76c092851c6b279dc5a8/Understanding-Digital-Image-Processing.pdf
- Wahyono, S. M. (2025). *Evaluasi Kepuasan Pelanggan Berdasarkan Ekspresi Wajah Menggunakan Real Time Detection Transformer (RT-DETR)* [Universitas Pendidikan Indonesia].
<http://siad.cs.upi.edu/assets/files/67a34fb4799d446045.pdf>
- Weiss, K., Khoshgoftaar, T. M., & Wang, D. (2016). A survey of transfer learning. *Journal of Big Data*, 3(1), 9.
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/s40537-016-0043-6.pdf>
- Wulandari, S. K., & Jasmir, J. (2024). Penggunaan Resnet-50 Untuk Deteksi Penyakit Ikan Air Tawar di Akuakultur Studi Kasus pada Akuakultur Asia Selatan. *Prosiding Seminar Nasional Bisnis, Teknologi Dan Kesehatan (SENABISTEKES)*, 1(1), 17–24.
<https://www.ejournal.ummuba.ac.id/index.php/SENABISTEKES/article/download/2205/1113>
- Yudha, M. D. L. (2020). *Deteksi Sepeda Motor di Jalan Raya Menggunakan Faster R-CNN Berbasis VGG16* [Universitas Pendidikan Indonesia].
<http://siad.cs.upi.edu/assets/files/5f4bca8cdf1a121971.pdf>