

**PENERAPAN COMPUTER VISION DAN WEBRTC SEBAGAI MEDIA
PEMBELAJARAN MENGGUNAKAN GESTUR TANGAN**



SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar sarjana
Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika

Oleh:

Rafli Zaki Rabbani

E515.2100415

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK OTOMASI INDUSTRI DAN
ROBOTIKA**

FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNIK DAN INDUSTRI

UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA

2025

**PENERAPAN COMPUTER VISION DAN WEBRTC SEBAGAI MEDIA
PEMBELAJARAN MENGGUNAKAN GESTUR TANGAN**

Oleh
Rafli Zaki Rabbani
2100415

Skripsi yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Otomasi Industri
dan Robotika Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri

© Rafli Zaki Rabbani
Universitas Pendidikan Indonesia
Juni 2025

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang.
Skripsi ini tidak boleh diperbanyak sebagian atau seluruhnya dengan dicetak
ulang, di-*photocopy*, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

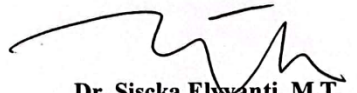
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENERAPAN COMPUTER VISION DAN WEBRTC SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN MENGGUNAKAN GESTUR TANGAN

Rafli Zaki Rabbani
E515.2100415

Disetujui dan disahkan oleh Dosen Pembimbing:

Dosen Pembimbing I,


Dr. Siscka Elvyanti, M.T.
NIP. 19731122 200112 2 002

acc siday tahap 1
tgl. 10 Juli 2023

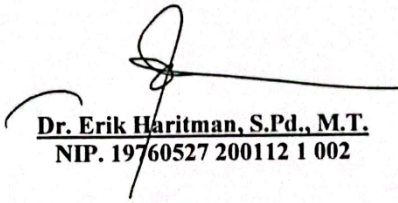
Dosen Pembimbing II,


Nurul Fahmi Arief Hakim, S.Pd., M.T.
NIP. 920200419930905101

10/7 2025

Mengetahui,

Ketua Program Studi Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika,


Dr. Erik Haritman, S.Pd., M.T.
NIP. 19760527 200112 1 002

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rafli Zaki Rabbani

NIM : 2100415

Program Studi : Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika

Judul Karya : Penerapan Computer Vision dan WebRTC sebagai Media Pembelajaran menggunakan Gestur Tangan

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul “*Penerapan Computer Vision dan WebRTC sebagai Media Pembelajaran menggunakan Gestur Tangan*” ini merupakan hasil kerja saya sendiri. Saya menjamin bahwa seluruh isi karya ini, baik sebagian maupun keseluruhan, bukan merupakan plagiarisme dari karya orang lain, kecuali pada bagian yang telah dinyatakan dan disebutkan sumbernya dengan jelas.

Jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika akademik atau unsur plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Pendidikan Indonesia.

Bandung, 14 Juli 2025

Yang membuat pernyataan,



Rafli Zaki Rabbani

NIM. 2100415

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, karena atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul “*Penerapan Computer Vision dan WebRTC sebagai Media Pembelajaran menggunakan Gestur Tangan*”, sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S1 Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri. Tidak lupa sholawat serta salam tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, para sahabatnya, serta umatnya. Skripsi ini telah penulis susun semaksimal mungkin, tidak lepas dari bantuan dan dukungan yang diberikan dari banyak pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Pada kesempatan ini, penulis sampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan petunjuk dan kekuatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan Skripsi ini hingga selesai.
2. Ibu Dr. Siscka Elvyanti, M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah membimbing dan membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan Skripsi.
3. Bapak Nurul Fahmi Arief Hakim, S.Pd., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membimbing dan membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian dan penulisan Skripsi.
4. Bapak Daswin Hasanudin dan Ibu Hani Prihatini selaku kedua orang tua, lalu seluruh keluarga yang senantiasa mendukung dan mendoakan penulis selama masa studi.
5. Bapak Roer Eka Pawinanto, M.Sc. selaku Dosen Wali Akademik penulis yang telah membimbing proses akademik selama masa studi.
6. Bapak Dr. Erik Haritman, S.Pd., M.T. selaku Ketua Program Studi S1 Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia.
7. Ibu Silmi Ath Thahirah Al Azhima, M.T. selaku Dosen penanggung jawab tugas akhir yang telah membantu proses penugasan akhir.

8. Seluruh Dosen dan Staff Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika FPTI UPI yang telah membimbing dan memberikan ilmu selama perkuliahan.
9. Seluruh Dosen dan Rekan mahasiswa yang terlibat pada penelitian terkait dengan skripsi ini.
10. Mahasiswa Program Studi Pendidikan Teknik Otomasi Industri dan Robotika angkatan 2024 selaku responden kuisioner.
11. Seluruh teman-teman seperjuangan dari masa sekolah hingga saat ini, lalu teman-teman PTOIR 2021 yang telah menemani penulis selama ini.

Terlepas dari semua itu, penulis menyadari bahwa masih ada kekurangan bahkan mungkin kesalahan dalam penyusunan Skripsi ini. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca sekalian agar penulis bisa menjadi lebih baik lagi dalam melakukan penyusunan dan penulisan karya tulis ilmiah. Akhir kata, penulis berharap bahwa hasil penulisan ini dapat memberikan pengetahuan dan wawasan yang bermanfaat bagi pembaca dan pihak yang membutuhkan.

Bandung, 14 Juli 2025

Penulis,

Rafli Zaki Rabbani

NIM. 2100415

ABSTRAK

Penerapan teknologi pembelajaran berbasis *computer vision* semakin memungkinkan dengan menawarkan peningkatan efektivitas, interaktivitas, dan efisiensi dalam pembelajaran dengan meningkatnya kemampuan perangkat keras dan *internet*. Penelitian ini mengobservasi dan menemukan solusi pengaplikasian *computer vision* dan *Web Real-Time Communication* (WebRTC) pada pembelajaran, yaitu presentasi dan tes/kuis. Penelitian menerapkan solusi yang dinamis dan aksesibel dalam mengatasi ketergantungan pada *operator* atau perangkat keras dalam metode presentasi tradisional serta menawarkan interaksi natural. Selain itu, penelitian ini menerapkan teknologi tersebut untuk mencegah kecurangan pada ujian daring yang diawasi (*online proctored exam*). Pengembangan sistem dilakukan dengan metode *Research and Development* (R&D) pendekatan spiral. Sistem memanfaatkan deteksi posisi *landmark* tangan menggunakan *MediaPipe* serta klasifikasi gestur dengan model *Convolutional Neural Network* (CNN) yang dilatih berdasarkan fitur sudut sendi *landmark* tangan. Dua fitur utama sistem ini, yaitu kontrol presentasi berbasis gestur (seperti menggerakkan kursor dan menavigasi presentasi), serta kuis interaktif pilihan ganda yang dijawab dengan acungan jari. Aplikasi dikembangkan pada dua *platform* berbeda, yaitu aplikasi *desktop* berbasis PyQt5 dan aplikasi web berbasis React dan Django dengan WebRTC untuk transmisi video pada tes online secara *real-time*. Evaluasi dilakukan melalui pengujian fungsional (*black-box*) dan pengujian teknis terhadap performa sistem. Hasil menunjukkan bahwa model CNN mencapai akurasi sebesar 0.9733, presisi 0.9739, *recall* 0.9733, *F1-score* 0.9731, dan mAP 0.9916. Waktu respons rata-rata 145,3 ms, yang menghasilkan *frame rate* 22,3 FPS pada aplikasi *desktop*, lalu *frame rate inbound* dan *outbound* rata-rata sekitar 15-15.2 FPS pada aplikasi web termasuk latensi RTT dan *frame assembly* tercatat sekitar 480-500 ms, menghasilkan sistem dengan performa dan responsivitas yang baik.

Kata Kunci: CNN, *computer vision*, gestur tangan, interaksi natural, *monitoring*, WebRTC

ABSTRACT

The application of computer vision-based learning technology is becoming increasingly feasible, offering enhanced effectiveness, interactivity, and efficiency in educational settings with the increasing capabilities of hardware and the internet this study observes and finds solutions for applying computer vision and Web Real-Time Communication (WebRTC) for learning, precisely presentations and tests/quizzes. This research presents a dynamic and accessible solution to reduce reliance on operators or additional hardware in traditional presentation methods while enabling natural interaction. Furthermore, it applies this technology to prevent cheating in online proctored exams. System development is carried out using the Research and Development (R&D) method with spiral approach. The system utilizes hand landmark detection using MediaPipe and gesture classification with a Convolutional Neural Network (CNN) model trained on angular features derived from hand joint landmarks. The system's two main features are gesture-based presentation control (e.g., cursor movement and presentation navigation) and an interactive multiple-choice quiz answered through finger-count gestures. The application is developed on two different platforms: a PyQt5-based desktop application and a web-based application using React and Django, employing WebRTC for real-time webcam video transmission during online tests. Evaluation was conducted through functional (black-box) testing and technical performance testing of the system. Results show that the CNN model achieved an accuracy of 0.9733, precision of 0.9739, recall of 0.9733, F1-score of 0.9731, and a mean Average Precision (mAP) of 0.9916. The system recorded an average response time of 145.3 ms, resulting in a frame rate of 22.3 FPS on the desktop application, and an average inbound and outbound frame rate of approximately 15–15.2 FPS on the web application, with RTT and frame assembly latency ranging from 480–500 ms, indicating a system with reliable performance and responsiveness.

Keywords: CNN, computer vision, hand gesture, monitoring, natural interaction, WebRTC

DAFTAR ISI

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
Bab 1 Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Peneltian.....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
Bab 2 Tinjauan Pustaka	7
2.1 Pembelajaran Berbasis Teknologi dan Interaksi Natural	7
2.2 <i>Computer Vision</i> dalam Konteks Pembelajaran.....	8
2.3 MediaPipe dan <i>Convolutional Neural Network</i> (CNN).....	9
2.4 <i>Graphical User Interface</i> (GUI)	12
2.4.1 Aplikasi Desktop berbasis PyQt5	12
2.4.2 Aplikasi Web berbasis React JS	13
2.5 Komunikasi Video <i>Real-Time</i> dengan WebRTC.....	13
2.6 Kajian Penelitian Relevan	15
Bab 3 Metodologi Penelitian	18
3.1 Desain Penelitian.....	18

3.2	Prosedur Perancangan Sistem	20
3.2.1	Observasi Teknis dan Pendekatan Solusi Sistem	23
3.2.2	Perancangan Algoritma.....	26
3.2.3	Pengembangan Model.....	31
3.2.4	<i>Deployment</i>	34
3.3	Prosedur Pengujian dan Evaluasi	37
3.4	Lingkungan Komputasi.....	38
Bab 4	Hasil dan Pembahasan	41
4.1	Hasil Implementasi Sistem.....	41
4.1.1	Sistem Utama.....	41
4.1.2	Aplikasi <i>Desktop</i>	47
4.1.3	Aplikasi WebRTC.....	49
4.2	Pengujian Sistem.....	52
4.2.1	Pengujian Fungsional <i>Black-box</i>	52
4.2.2	Pengujian Model Klasifikasi.....	55
4.2.3	Pengujian Performa Sistem/ <i>Runtime</i>	58
4.3	Evaluasi Sistem	59
4.3.1	Hasil Evaluasi Teknis	60
4.3.2	Hasil Evaluasi Berdasarkan Form Kuisisioner.....	61
4.4	Limitasi	65
Bab 5	Kesimpulan dan Saran.....	67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran.....	68
	DAFTAR PUSTAKA	69
	LAMPIRAN.....	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Hasil pelacakan tangan MediaPipe	10
Gambar 2.2 Proses penggeseran kernel ukuran 3x3 pada input 6x6	11
Gambar 2.3 Antarmuka Qt Designer	13
Gambar 2.4 Diagram proses <i>signaling</i> WebRTC	14
Gambar 3.1 Diagram metode spiral <i>original</i>	18
Gambar 3.2 Prosedur penelitian yang akan dilakukan	19
Gambar 3.3 Skematik rancangan pengaplikasian sistem <i>desktop</i>	21
Gambar 3.4 Gambaran <i>proctoring</i> dan pengerjaan tes	22
Gambar 3.5 Diagram <i>cross-functional</i> aplikasi web	23
Gambar 3.6 <i>Landmark</i> tangan MediaPipe	24
Gambar 3.7 Diagram proses algoritma validasi	27
Gambar 3.8 Arsitektur model CNN inisiasi/awal	34
Gambar 4.1 <i>Source code</i> fungsi <i>padding frame</i>	43
Gambar 4.2 <i>Source code</i> fungsi penghitung cos sudut	44
Gambar 4.3 <i>Source code</i> proses <i>encoding</i> dan <i>shuffling dataset</i>	44
Gambar 4.4 <i>Source code</i> proses normalisasi	45
Gambar 4.5 <i>Source code</i> interpolasi posisi <i>landmark</i> dan kursor	46
Gambar 4.6 <i>Source code</i> fungsi validasi deteksi ganda	47
Gambar 4.7 <i>Source code</i> dari fungsi untuk menyesuaikan pixmap	47
Gambar 4.8 Tangkapan layar aplikasi <i>desktop</i>	48
Gambar 4.9 Antarmuka fitur edit kuis	49
Gambar 4.10 Antarmuka fitur kuis aplikasi <i>desktop</i>	49
Gambar 4.11 Halaman <i>login</i> web	50
Gambar 4.12 Halaman instruksi web	51
Gambar 4.13 Halaman tes/kuis web	51
Gambar 4.14 Halaman kuis selesai web	52
Gambar 4.15 Grafik akurasi dan <i>loss</i> pelatihan model	56
Gambar 4.16 Grafik <i>precision</i> , <i>recall</i> , <i>f1-score</i> , dan mAP	57
Gambar 4.17 Performa pengujian model dengan data uji/ <i>test</i>	57
Gambar 4.18 <i>Frame rate inbound</i> (kiri) dan <i>outbound</i> (kanan)	58
Gambar 4.19 Grafik latensi proses <i>frame assembly</i>	59

Gambar 4.20 Grafik respon terhadap Q1 dan Q2	62
Gambar 4.21 Grafik respon terhadap Q3.....	63
Gambar 4.22 Grafik respon terhadap Q4.....	63
Gambar 4.23 Grafik respon terhadap Q5.....	64

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Gestur tangan mode ' <i>cursor</i> ' dan perintahnya	32
Tabel 3.2 Gestur tangan mode ' <i>key</i> ' dan perintahnya	32
Tabel 3.3 Gestur tangan fitur kuis dan perintahnya.....	33
Tabel 3.4 <i>Software</i> yang digunakan	39
Tabel 4.1 Sebaran <i>dataset</i> berdasarkan model yang akan dilatih.....	41
Tabel 4.2 <i>Hyperparameter</i> pada arsitektur model.....	45
Tabel 4.3 Hasil pengujian <i>black-box</i> pada aplikasi <i>desktop</i>	52
Tabel 4.4 Hasil pengujian <i>black-box</i> pada aplikasi web.....	54
Tabel 4.5 Tabel Perkembangan Performa Model selama Pelatihan	55
Tabel 4.6 Daftar pertanyaan kuisisioner beserta indikatornya	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 <i>Link repository</i> aplikasi desktop	74
Lampiran 2 <i>Link repository</i> aplikasi WebRTC	74
Lampiran 3 Respon <i>form</i> kuisisioner lengkap Q6	74
Lampiran 4 Respon <i>form</i> kuisisioner lengkap Q7	75
Lampiran 5 Respon <i>form</i> kuisisioner lengkap Q8	77
Lampiran 6 Kontribusi <i>issue error</i> pada <i>repository</i> aiortc.....	79

DAFTAR PUSTAKA

- Alin, P., Arendt, A., & Gurell, S. (2023). Addressing cheating in virtual proctored examinations: toward a framework of relevant mitigation strategies. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 48(3), 262–275. <https://doi.org/10.1080/02602938.2022.2075317>
- Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., Santamaría, J., Fadhel, M. A., Al-Amidie, M., & Farhan, L. (2021). Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data*, 8(1), 53. <https://doi.org/10.1186/s40537-021-00444-8>
- Banks, A., & Porcello, E. (2020). *Learning React: Modern Patterns for Developing React Apps* (2nd ed.). O'Reilly Media, Inc.
- Blum, N., Lachapelle, S., & Alvestrand, H. (2021). WebRTC: Real-Time Communication for the Open Web Platform. *Communications of the ACM*, 64(8), 50–54. <https://doi.org/10.1145/3453182>
- Boehm, B. (2000). *Spiral Development: Experience, Principles, and Refinements*.
- Boehm, B. W. (1995). A Spiral Model of Software Development and Enhancement. Dalam *Readings in Human–Computer Interaction* (hlm. 281–292). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-051574-8.50031-5>
- Cárdenas-Sainz, B. A., Barrón-Estrada, M. L., Zatarain-Cabada, R., & Ríos-Félix, J. M. (2022). Integration and acceptance of Natural User Interfaces for interactive learning environments. *International Journal of Child-Computer Interaction*, 31, 100381. <https://doi.org/10.1016/j.ijcci.2021.100381>
- Fernandez, J. (2023, April 4). *MediaPipe Hands. Read the Docs: Full featured documentation deployment platform*. <https://mediapipe.readthedocs.io/en/latest/solutions/hands.html>
- Gustiani, S. (2019). Research and development (R&D) method as a model design in educational research and its alternatives. *HOLISTICS JOURNAL HOSPITALITY AND LINGUISTICS*, 11(2).

- Hitchcock, C., & Stahl, S. (2003). Assistive Technology, Universal Design, Universal Design for Learning: Improved Learning Opportunities. *Journal of Special Education Technology*, 18(4), 45–52. <https://doi.org/10.1177/016264340301800404>
- Holmes, W., & Tuomi, I. (2022). State of the art and practice in AI in education. *European Journal of Education*, 57(4), 542–570. <https://doi.org/10.1111/ejed.12533>
- Jansen, B., Goodwin, T., Gupta, V., Kuipers, F., & Zussman, G. (2018). Performance Evaluation of WebRTC-based Video Conferencing. *ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review*, 45(3), 56–68. <https://doi.org/10.1145/3199524.3199534>
- Juslenius, S. (2021). *WebSocket vs WebRTC in the stream overlays of the Streamr Network* [Master's thesis]. Helsinki University.
- Kaddoura, S., & Gumaiei, A. (2022). Towards effective and efficient online exam systems using deep learning-based cheating detection approach. *Intelligent Systems with Applications*, 16, 200153. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2022.200153>
- Kumaran, N., Srivathsav, S., & Sg, S. G. (2023). Computer Vision Quiz through Hand Gestures Movements. *International Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 7(5). <https://doi.org/10.55041/IJSREM20659>
- Lee, K., & Fanguy, M. (2022). Online exam proctoring technologies: Educational innovation or deterioration? *British Journal of Educational Technology*, 53(3), 475–490. <https://doi.org/10.1111/bjet.13182>
- Makahaube, S. S., Sambul, A. M., & Sompie, S. R. (2021). Implementation of Gesture Recognition Technology for Automated Education Service Kiosk. *Jurnal Teknik Informatika*, 16(4), 465–472. <https://doi.org/10.35793/jti.16.4.2021.34210>
- Mendoza, K. H. (2022). *Universal Design for Learning: Inclusivity with Technology in Multicultural and Special Education Classrooms* [Dominican

University of California - San Rafael, CA].
<https://doi.org/10.33015/dominican.edu/2022.EDU.16>

Messinger-Willman, J., & Marino, M. T. (2010). Universal Design for Learning and Assistive Technology: Leadership Considerations for Promoting Inclusive Education in Today's Secondary Schools. *NASSP Bulletin*, 94(1), 5–16.
<https://doi.org/10.1177/0192636510371977>

Muñoz, J. L. R., Ojeda, F. M., Jurado, D. L. A., Peña, P. F. P., Carranza, C. P. M., Berríos, H. Q., Molina, S. U., Farfan, A. R. M., Arias-González, J. L., & Vasquez-Pauca, M. J. (2022). Systematic review of adaptive learning technology for learning in higher education. *Eurasian Journal of Educational Research*, 98, 221–233.
<https://doi.org/10.14689/ejer.2022.98.014>

Nabijonovich, S. B., & Najmiddin, G. (2024). OPTIMIZING PYQT5 DEVELOPMENT WITH QT DESIGNER. *Web of Teachers: Inderscience Research*, 2(4), 254–259.

Noorbehbahani, F., Mohammadi, A., & Aminazadeh, M. (2022). A systematic review of research on cheating in online exams from 2010 to 2021. *Education and Information Technologies*, 27(6), 8413–8460.
<https://doi.org/10.1007/s10639-022-10927-7>

Nurhikmah, H., Gani, H. A., Pratama, Muh. P., & Wijaya, H. (2021). Development of an Android-based Computer Based Test (CBT) In Middle School. *Journal of Education Technology*, 5(2), 272–281.
<https://doi.org/10.23887/jet.v5i2.33527>

Rahim, Md. A., Shin, J., & Islam, Md. R. (2020). Hand gesture recognition-based non-touch character writing system on a virtual keyboard. *Multimedia Tools and Applications*, 79(17–18), 11813–11836. <https://doi.org/10.1007/s11042-019-08448-6>

Raman, R., B, S., G, V., Vachharajani, H., & Nedungadi, P. (2021). Adoption of online proctored examinations by university students during COVID-19:

- Innovation diffusion study. *Education and Information Technologies*, 26(6), 7339–7358. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10581-5>
- Ramanarayanan, V., Leong, C. W., Chen, L., Feng, G., & Suendermann-Oeft, D. (2015). Evaluating Speech, Face, Emotion and Body Movement Time-series Features for Automated Multimodal Presentation Scoring. *Proceedings of the 2015 ACM on International Conference on Multimodal Interaction*, 23–30. <https://doi.org/10.1145/2818346.2820765>
- Reynolds, A. (2019). *Convolutional Neural Networks (CNNs)*. <https://anhreynolds.com/blogs/cnn.html>.
<https://anhreynolds.com/blogs/cnn.html>
- Schreiber, L. M., Paul, G. D., & Shibley, L. R. (2015). Public Speaking Competence Rubric. Dalam *PsycTESTS Dataset*. <https://doi.org/10.1037/t40709-000>
- Sharma, V., Pandey, M. K., Gupta, J., & Kishan, H. (2024). Peer to Peer Communication using Web Sockets and Web RTC. *2024 International Conference on Emerging Innovations and Advanced Computing (INNOCOMP)*, 627–634. <https://doi.org/10.1109/INNOCOMP63224.2024.00108>
- Stamenkovic, M. (2023). *The impact of virtual audience engagement on presentation performance through affective experience: results from a virtual reality experiment* [Master's thesis]. University of Twente.
- Sudarmo, S., Arifin, A., Pattiasina, P. J., Wirawan, V., & Aslan, A. (2021). The Future of Instruction Media in Indonesian Education: Systematic Review. *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, 13(2), 1302–1311. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v13i2.542>
- Sydney, R. (2023, Januari 4). *WebRTC Server: What It Is and Why You Need One*. Wowza. https://www-wowza-com.translate.goog/blog/webrtc-server-what-it-is-and-why-you-need-one?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=imgs
- Szeliski, R. (2022). *Computer Vision: Algorithms and Applications* (2nd ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-34372-9>

- Wang, S., & Sun, Z. (2024). Roles of artificial intelligence experience, information redundancy, and familiarity in shaping active learning: Insights from intelligent personal assistants. *Education and Information Technologies*, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12895-6>
- Willman, J. (2021). *Modern PyQt* (1 ed.). Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6603-8>
- Wu, T.-T., Lee, H.-Y., Wang, W.-S., Lin, C.-J., & Huang, Y.-M. (2023). Leveraging computer vision for adaptive learning in STEM education: effect of engagement and self-efficacy. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 53. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00422-5>
- Xu, W., & Ouyang, F. (2022). The application of AI technologies in STEM education: a systematic review from 2011 to 2021. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 59. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00377-5>
- Yunita, H., & Setyati, E. (2019). Hand Gesture Recognition Sebagai Pengganti Mouse Komputer Menggunakan Kamera. *Jurnal ELTIKOM: Jurnal Teknik Elektro, Teknologi Informasi dan Komputer*, 3(2), 64–76. <https://doi.org/10.31961/eltikom.v3i2.114>
- Zhang, F., Bazarevsky, V., Vakunov, A., Tkachenka, A., Sung, G., Chang, C.-L., & Grundmann, M. (2020). *MediaPipe Hands: On-device Real-time Hand Tracking*. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.10214>
- Zhao, Q., & Li, Z. (2021). Application of Computer Vision Media Simulation Technology in Distance Education of New Generation Labor Productivity. *Journal of Physics: Conference Series*, 1992(4), 042044. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1992/4/042044>