

Aplikasi Cerdas Sistem Deteksi Tindak Kekerasan Fisik Untuk Pengawasan Perundungan Dengan *Convolutional Neural Network*

¹Sukmawati Anggraeni Putri, ²Achmad Rifai, ³Imam Nawawi

^{1,2}Universitas Nusa Mandiri, Indonesia

³Universitas Bina Sarana Informatika, Indonesia

sukmawati@nusamandiri.ac.id; achmad.acf@nusamandiri.ac.id; imam.imw@bsi.ac.id

Article Info

Article history:

Received, 2024-05-29

Revised, 2024-06-03

Accepted, 2024-06-14

Kata Kunci:

pascapanen
limbah_pertanian
pertanian
sosialisasi
motion_graphic

Keywords:

postharvest
agricultural_waste
agricultural
socialization
motion_graphic

ABSTRAK

Perundungan yang terjadi di sekolah merupakan masalah serius yang memiliki konsekuensi negatif jangka pendek dan jangka panjang untuk korban perundungan. Namun, saat ini pengawasan perundungan terutama tindak kekerasan seperti menendang, mendorong dan memukul di sekolah masih lemah. Pemanfaat Artificial Intelligence (AI) menjadi salah satu rekomendasi solusi untuk mendeteksi tindak kekerasan melalui rekaman video. Pada penelitian ini pembangunan AI untuk deteksi tindak kekerasan menggunakan model *deep learning*, yakni *Convolutional Neural Network* (CNN) dan *Long Shot Term Memory* (LSTM). CNN melakukan proses mengekstraksi fitur pada frame yang dihasilkan oleh video. Frame yang telah terbentuk pada *convolutional gate* terjadi proses pemilihan fitur menggunakan LSTM. Sehingga CNN dan LSTM dapat mengidentifikasi fitur lokal terkecil yakni fitur *spatio-temporal* yang bermanfaat menganalisa gerakan terdalam dari video. Model tersebut menghasilkan akurasi rata-rata hingga 92%. Perbandingan hasil yang dicapai dengan teknik mutakhir menunjukkan potensi yang menjanjikan dari metode yang diusulkan untuk mengenali video kekerasan. Model yang telah diuji tersebut dapat diintegrasikan dengan aplikasi cerdas berbasis online. Diharapkan aplikasi cerdas deteksi tindak kekerasan tersebut, dapat bermanfaat untuk melakukan pengawasan terhadap tindakan perundungan dan mengurangi angka kasus perundungan yang terjadi di sekolah.

ABSTRACT

Bullying that occurs at school is a severe problem that has short-term and long-term negative consequences for victims of bullying. However, current monitoring of bullying, especially acts of violence such as kicking, pushing and hitting at school, is still weak. Utilizing Artificial Intelligence (AI) is one of the recommended solutions for detecting acts of violence through video recordings. In this research, the development of AI for detecting acts of violence uses deep learning models, namely Convolutional Neural Network (CNN) and Long Shot Term Memory (LSTM). CNN extracts features from the frames produced by the video. The frame formed at the convolutional gate undergoes a feature selection process using LSTM. So CNN and LSTM can identify the minor local features, namely spatiotemporal features, which help analyze the most profound movements of the video. The model produces an average accuracy of up to 92%. A comparison of the results achieved with state-of-the-art techniques shows the promising potential of the proposed method for recognizing violent videos. The tested model can be integrated with online-based intelligent applications. It is hoped that this intelligent application for detecting acts of violence can help monitor bullying and reduce the number of bullying cases in schools.

This is an open-access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/) license.



Penulis Korespondensi:

Sukmawati Anggraeni Putri,
Program Studi Sistem Informasi,
Universitas Nusa Mandiri,
Email: sukmawati@nusamanadiri.ac.id

1. PENDAHULUAN

Perundungan yang terjadi di sekolah merupakan masalah serius yang memiliki konsekuensi negatif jangka pendek dan jangka panjang[1]. Selain itu, perundungan menjadi masalah signifikan bagi korban, yakni kesehatan fisik dan kesehatan mental yang mengakibatkan perilaku anti sosial dan meningkatkan risiko depresi dikemudian hari[2]. Perundungan terdiri dari verbal bullying dan kekerasan fisik yang terjadi diantara siswa berumur 12 – 15 tahun[3]. Kekerasan terhadap anak atau remaja di lingkungan pendidikan adalah setiap perbuatan yang berakibat timbulnya kesengsaraan atau penderitaan secara fisik, mental dan psikologis. Menurut Federasi Serikat Guru Indonesia (FSGI), terdapat 30 kasus perundungan di sekolah sepanjang tahun 2023. Perundungan terjadi sebanyak 50% dijenjang SMP/ sederajat, 30% dijenjang SD/ sederajat, dan 20% dijenjang SMA/ SMK/ sederajat[4].

Untuk mengurangi angka tersebut, pengawasan terhadap tindak kekerasan sangat diperlukan. Tetapi saat ini kegiatan pemantauan terhadap tindak kekerasan seperti memukul, menendang dan mendorong memiliki kelemahan, yakni lemahnya pengawasan dari pihak sekolah. Oleh karenanya pada penelitian ini mengusulkan membangun aplikasi deteksi tindak kekerasan fisik untuk melakukan pengawasan terhadap perbuatan perundungan. Aplikasi ini mengintegrasikan sistem informasi dengan *artificial intelligence* dengan model *deep learning*. Model *Deep Learning* telah mencapai peningkatan kinerja yang luar biasa dalam praktiknya dengan pengembangan beberapa model *Network*[5]. Model *deep learning* terdiri dari dua komponen: ekstraksi fitur dan deteksi kejadian tindak kekerasan. *Deep* fitur akan dideteksi secara otomatis selama proses pelatihan, dan deteksi dilakukan oleh blok deteksi berdasarkan fitur-fitur tersebut.

Pada penelitian yang dilakukan Honarjoo [6] menerapkan *Convolutional Neural Network (CNN)* yang telah membuktikan secara empiris sebagai kategori model yang sangat efisien untuk menganalisa materi gambar. CNN memiliki kemampuan memperoleh karakteristik visual yang melekat pada gambar stasioner dan temporal rumit yang terdapat pada gambar. Proses ini memberikan manfaat dan menghasilkan performa yang baik pada proses *learning*.

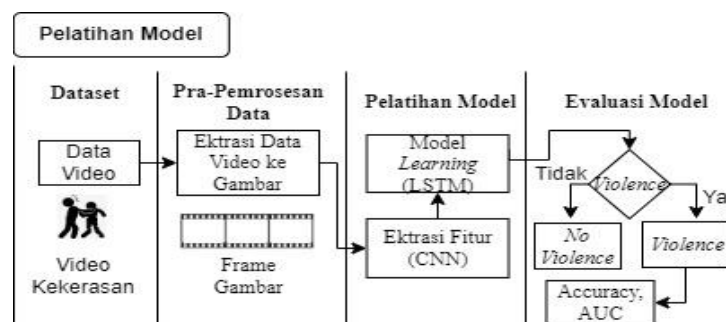
Sedangkan beberapa penelitian memanfaatkan *Recurrent Neural Network (RNN)* salah satunya Long short term memory (LSTM) untuk mengatasi masalah terkait agregasi fitur. Pada prosesnya dengan memanfaatkan CNN untuk mengekstraksi fitur dari piksel mentah, gambar aliran optik dan peta aliran akselerasi. Sehingga pada proses *learning* menghasilkan performa yang baik.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan dua tahap. Tahap pertama dengan melakukan pengembangan model untuk deteksi tindak kekerasan. Tahap kedua dengan melakukan pembangunan aplikasi cerdas sistem deteksi tindak kekerasan.

Pendekatan Pembangunan Model

Pada model untuk deteksi tindak kekerasan merupakan tugas yang kompleks serta sistematis. Proses pendekatan pembangun model dapat dijelaskan pada Gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Framework Pelatihan Model [7]

Proses pelatihan dalam membangun model deteksi tindak kekerasan dijelaskan pada Gambar 1. Berikut penjelasan lengkap dari setiap langkah pada pendekatan pembangunan model:

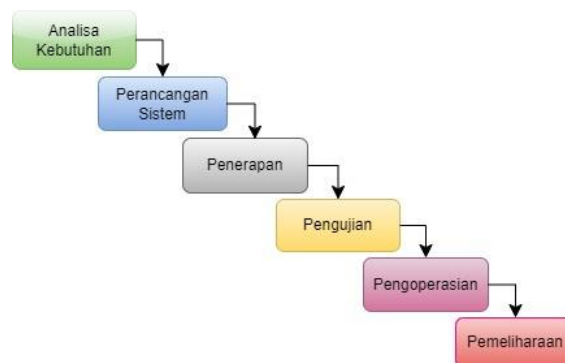
1. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini, dilakukan proses pengumpulan dan pemilihan dataset yang berupa video yang memiliki unsur adegan kekerasan dan non kekerasan. Dataset tersebut selanjutnya dilakukan proses *labeling violence* dan *non violence* pada setiap segmen video yang telah diekstraksi menjadi gambar [7].

2. Tahap Pra-pemrosesan Data
Pada tahap ini, dilakukan ekstrak frame dari video untuk mendapatkan gambar individu. Selanjutnya dilakukan proses normalisasi dan penskalaan gambar yang sama sehingga memiliki ukuran dan format yang konsisten[8].
3. Tahap Pelatihan Model
Pada tahap ini, proses pemilihan arsitektur machine learning yakni *Convolutional Neural Networks* (CNN) yang telah terbukti efektif dalam analisis gambar spasial. Selain itu juga pemilihan *Long Short Term Memory* (LSTM) sebagai salah satu model dari *Recurrent Neural Networks* (RNN) yang digunakan untuk proses temporal pada video[9].
4. Tahap Validasi dan Evaluasi
Pada proses validasi digunakan *K-Fold Cross Validation* yang berfungsi untuk memastikan model tidak *overfit* pada dataset pelatihan. Pada proses evaluasi model digunakan Metrik seperti akurasi, presisi, recall, F1-score dan *Area Under Curve* (AUC)[10].

Pendekatan Pembangunan Sistem

Pada tahap pembangunan sistem deteksi tindak kekerasan menggunakan metode *waterfall* atau siklus hidup klasik. Metode *waterfall* yang proses kerjanya menggunakan pendekatan terstruktur sehingga banyak digunakan oleh pengembang aplikasi[11][12] yang dijelaskan pada Gambar 2, sebagai berikut:



Gambar 2. Metode *Waterfall* Pembangunan Aplikasi Deteksi Tindak Kekerasan

Proses pengembangan sistem deteksi tindak kekerasan dijelaskan pada Gambar 2. Berikut penjelasan lengkap dari setiap langkah pada pendekatan pembangunan sistem tersebut:

1. Tahap Analisa Kebutuhan
Pada tahap ini, dilakukan proses indentifikasi kebutuhan pengguna dalam sistem. Pada prosesnya yang dilakukan terdiri dari pengumpulan informasi, analisis, dokumentasi dan validasi kebutuhan.
2. Tahap Perancangan Sistem
Pada tahap ini, dilaksanakan merancang arsitek dan komponen sistem berdasarkan analisa kebutuhan yang telah diidentifikasi pada tahap analisa kebutuhan. Selain itu juga tahap penentu sistem akan diimplementasikan dan berfungsi secara keseluruhan.
3. Tahap Penerapan
Pada tahap ini proses perubahan desain sistem yang telah dibuat sebelumnya diubah menjadi kode program, pembuatan modul dan menerapkan sesuai dengan spesifikasi teknis.
4. Tahap Pengujian
Pada tahap ini, melakukan pengujian sistem untuk memastikan semua sistem yang telah dibangun sesuai dengan spesifikasi. Prosesnya terdiri pengujian unit (modul), integrasi, sistem dan penerimaan pengguna terhadap sistem.
5. Tahap Integrasi dan Pengoperasian
Pada tahap ini melakukan proses integrasi semua komponen serta menerapkan sistem ke lingkungan operasional, melaksanakan pelatihan dan pendampingan pada pengguna dalam menjalankan sistem.
6. Pemeliharaan
Pada tahap ini, sistem yang telah diimplementasikan dilakukan pemeliharaan. Proses yang dikerjakan dengan memperbaiki bug dan melakukan update sistem sesuai dengan umpan balik pengguna yang memungkinkan adanya kebutuhan baru.

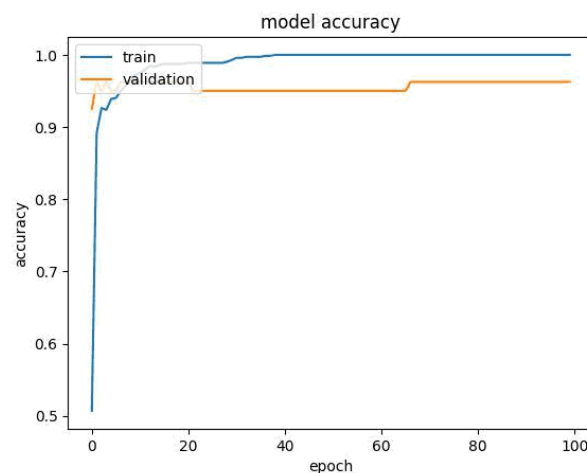
3. HASIL DAN ANALISIS

Pada penelitian yang telah dilakukan menghasilkan aplikasi sistem cerdas berbasis *website* yang terintegrasi dengan *artificial intelligence* (AI) mendeteksi tindak kekerasan fisik secara otomatis. Pada proses pelatihan dan pengujian aplikasi cerdas yang dikembangkan ini melalui ruang simulasi. Dimana pada ruang simulasi tersebut sekelompok orang melakukan beberapa gerakan tindak kekerasan seperti memukul, mendorong dan menendang. Tiga gerakan tersebut menjadi dasar bagi aplikasi cerdas sistem deteksi tindak kekerasan ini untuk mendeteksi apakah pada video yang di unggah pada sistem terjadi tindakan kekerasan (*violence*) atau tidak ada tindak kekerasan (*no violence*)[13].

Pembangunan Model

Pada proses pembangunan model untuk deteksi tindak kekerasan melalui beberapa tahap sebagai berikut:

1. Tahap pengumpulan data dilakukan pelatihan dan pengujian model menggunakan data *public* dan data *private*. Data *public* menggunakan data yang telah digunakan oleh peneliti sebelumnya. Data *private* menggunakan data yang diperoleh dari ruang simulasi.
2. Tahap pra-pemrosesan data ini memproses ekstraksi video menjadi *frame* gambar. Pada proses ekstraksi ini dilakukan penentuan skala, sehingga setiap *frame* gambar dihasilkan dengan ukuran yang sama.
3. Tahap pelatihan model, pada penelitian ini menerapkan metode *deep learning*, salah satunya adalah algoritma *Convolutional Neural Networks (CNNs)*. Alasan utama menerapkan metode ini untuk memperluas jaringan untuk mencakup banyak parameter, mencapai puluhan juta, dan ketersediaan kumpulan data berlabel besar yang memfasilitasi proses pembelajaran [14][15]. Dalam keadaan tertentu, *Convolutional Neural Networks (CNNs)* telah menunjukkan kemampuan untuk memperoleh karakteristik visual yang kuat dan mudah dipahami. Termotivasi oleh hasil yang menjanjikan dalam analisis gambar, kami menyelidiki kehandalan *Convolutional Neural Networks (CNNs)* dalam konteks kategorisasi video yang luas[16][6]. Dimana pada proses akurasi deteksi tindak kekerasan melalui data video tersebut mencapai 92%.
4. Tahap validasi dan evaluasi menggunakan akurasi dan *Area Under Curve (AUC)*. Pada hasil akurasi dari proses *machine learning* dengan model *deep learning* yakni CCN dan LSTM, sebesar hingga 92% dijelaskan pada Gambar 3.

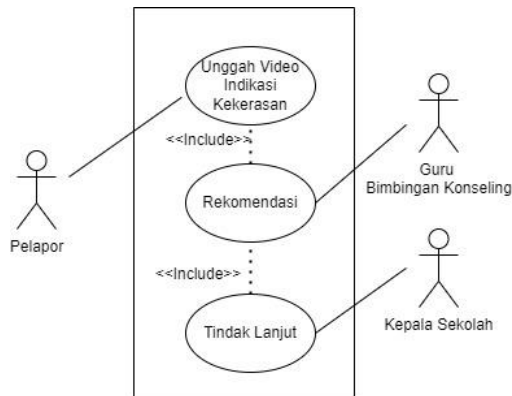


Gambar 3. Hasil Akurasi Model CNN Deteksi Tindak Kekerasan

Pembangunan Sistem

Pada proses pembangunan sistem cerdas deteksi tindak kekerasan menggunakan tahap dengan metode *waterfall*, yang melibatkan beberapa langkah berikut:

1. Pada tahap analisa kebutuhan sistem informasi, peneliti melakukan identifikasi permasalahan yang ada dan mencari solusi dalam pengembangan aplikasi. Proses tersebut dengan melakukan wawancara langsung ke sekolah.
2. Pada tahap desain, peneliti melakukan perancangan sistem sesuai dengan kebutuhan yang telah dianalisa sebelumnya. Rancangan sistem akan dijelaskan menggunakan *Unified Modeling Language (UML)* yang dapat menjelaskan hubungan antara komponen dalam sistem.
 - a. *Usecase Diagram*
 Pada *usecase diagram* pembuatan aplikasi cerdas deteksi tindak kekerasan ini, terdiri dari tiga actor yakni Pelapor, Guru Bimbingan Konseling dan Kepala Sekolah. Usecase diagram tersebut dijelaskan pada Gambar 4.

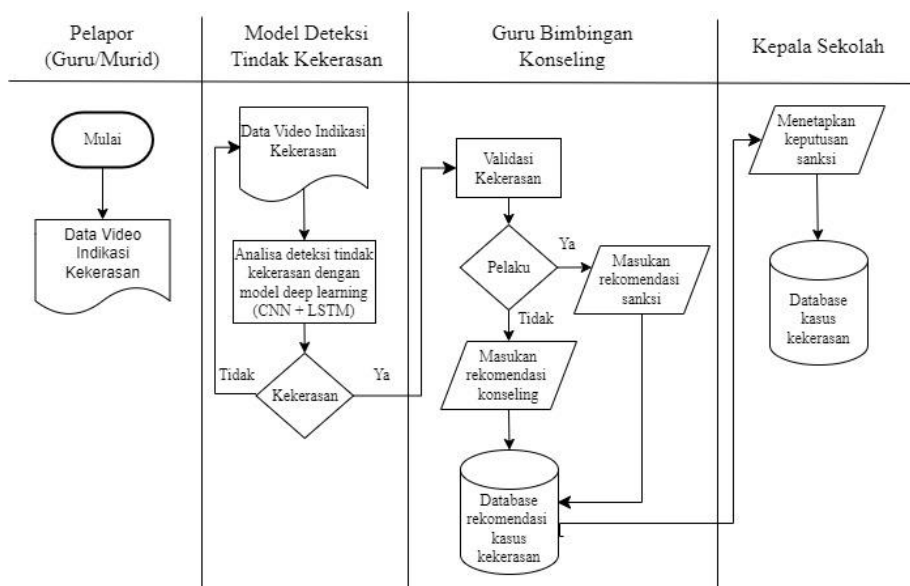


Gambar 4. Usecase Diagram Aplikasi Cerdas Deteksi Tindak Kekerasan

Pada Gambar 4 dijelaskan penggunaan sistem oleh user yang terbagi menjadi tiga jenis hak akses, yakni sebagai Pelapor, Guru Bimbingan Konseling, dan Kepala Sekolah. Pada prosesnya Pelapor mengunggah video indikasi kekerasan, kemudian sistem aplikasi deteksi tindak kekerasan menghasilkan rekomendasi yang akan divalidasi oleh Guru Bimbingan Konseling, selanjutnya hasil validasi tersebut Rekomendasi diproses untuk menghasilkan keputusan tindak lanjut oleh Kepala Sekolah.

b. Activity Diagram

Pada proses *activity diagram* aplikasi cerdas tindak kekerasan terdiri dari empat proses yakni melapor yang dilakukan oleh pelapor, analisa deteksi tindak kekerasan oleh model deteksi tindak kekerasan yang telah terintegrasi sistem, proses validasi rekomendasi yang telah dihasilkan oleh sistem yang dilakukan oleh Guru Bimbingan Konseling dan terakhir tindak lanjut keputusan oleh Kepala Sekolah. Proses tersebut dijelaskan pada Gambar 5 sebagai berikut:

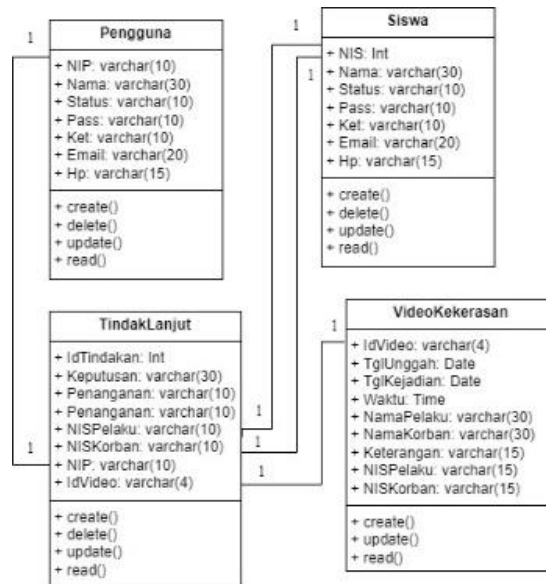


Gambar 5. Activity Diagram Aplikasi Cerdas Deteksi Tindak Kekerasan

Pada Gambar 5 dijelaskan bahwa sistem dimulai dengan memasukkan data berupa video terindikasi terjadi tindak kekerasan fisik. Selanjutnya pada sistem melakukan analisa menggunakan model *deep learning* pada proses artificial intelligence dalam mendeteksi tindak kekerasan dari gerakan pada video. Hasil analisa tersebut akan menghasilkan rekomendasi bahwa terjadi tindak kekerasan atau tidak terjadi tindak kekerasan. Rekomendasi tersebut sebagai acuan bagi pihak sekolah untuk melakukan tindak lanjut kepada korban dan pelaku tindak kekerasan.

c. Class Diagram

Class diagram yang diperlukan pada pembangunan aplikasi cerdas deteksi tindak kekerasan ini terdiri dari empat class yang dijelaskan pada Gambar 6, berikut ini



Gambar 6. Class Diagram Aplikasi Cerdas Deteksi Tindak Kekerasan

3. Pada tahap penerapan, dihasilkan sistem berbasis *website* yang dapat diakses secara *online*. Pada aplikasi cerdas sistem deteksi tindak kekerasan ini memiliki dua hak akses diantaranya admin dan pengguna.

Hak akses admin terdiri dari guru wali kelas, guru bimbingan konseling, wakil kepala sekolah dan kepala sekolah. Sedangkan hak akses pengguna terdiri dari guru umum, staf tata usaha dan siswa. Bagi pengguna yang ingin menggunakan aplikasi ini harus terlebih dahulu masuk melalui halaman login yang dijelaskan pada Gambar 7.



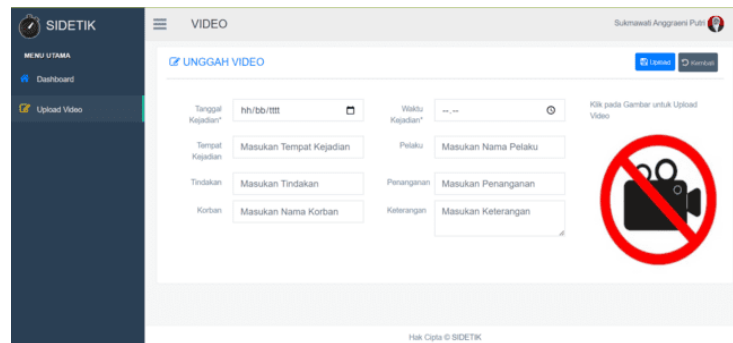
Gambar 7. Halaman Login Aplikasi Deteksi Tindak Kekerasan

Apabila *user* memasukan *email* dan *password* dengan benar, maka akan masuk ke dalam aplikasi. Halaman beranda dari aplikasi yang dijelaskan pada Gambar 8.



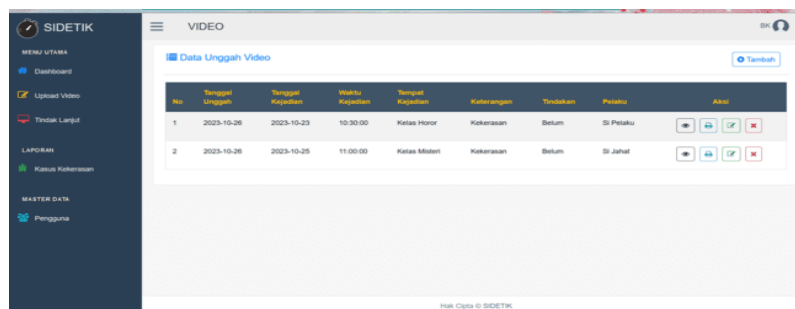
Gambar 8. Halaman Beranda Aplikasi Cerdas Deteksi Tindak Kekerasan

Pengguna yang telah memiliki hak akses dapat melakukan pelaporan ketika terindikasi terjadinya tindak kekerasan, dengan melakukan unggah video beserta memasukkan informasi lainnya seperti tanggal kejadian, jam kejadian, tempat kejadian, terduga pelaku dan terduga korban. Halaman unggah video dijelaskan pada Gambar 9.



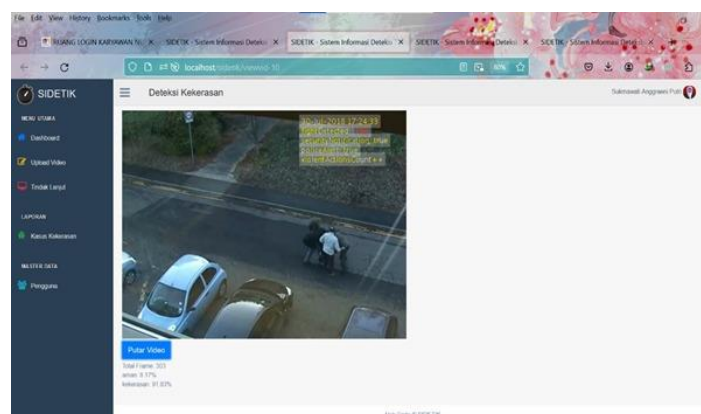
Gambar 9. Halaman Unggah Video

Video terindikasi terjadi tindak kekerasan yang telah diunggah, akan tersimpan ke database dan mengirimkan notifikasi ke handphone selular guru bimbingan konseling. Selanjutnya guru bimbingan konseling melakukan analisa pada data unggah video yang dijelaskan pada Gambar 10, sebagai berikut:



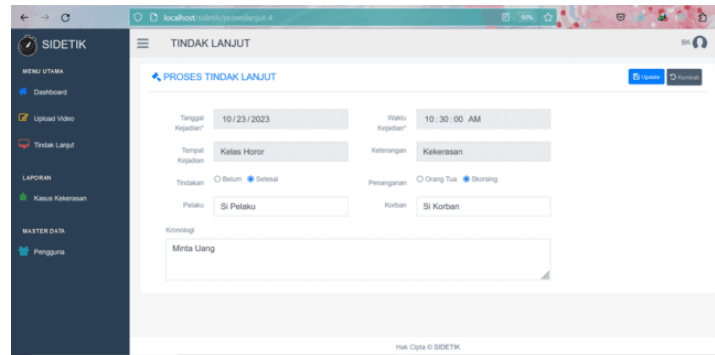
Gambar 10. Halaman Pengelolaan Data Unggah Video Pengguna

Pada proses analisa tersebut, dengan menekan icon lihat akan muncul analisa menggunakan model *deep learning* yang sebelumnya telah diintegrasikan ke dalam sistem, dijelaskan pada Gambar 11.



Gambar 11. Halaman Analisa Deteksi Tindak Kekerasan dengan *Deep Learning*

Selanjutnya jika rata-rata persentase diatas 85% maka sistem akan memproses secara otomatis dengan indikasi kekerasan dan keproses selanjutnya untuk tindak lanjut yang dijelaskan pada Gambar 12.



Gambar 12. Halaman Proses Tindak Lanjut

Pada proses tindak lanjut yang dijelaskan pada Gambar 12. sebagai hasil dari pengambil keputusan oleh kepala sekolah berdasarkan rekomendasi yang diberikan oleh guru bimbingan konseling dan guru wali kelas.

4. KESIMPULAN

Pada proses pengujian model *deep learning* dengan menggunakan CNN dan LSTM, diperoleh akurasi rata-rata 92%. Sehingga dengan tingginya nilai akurasi tersebut aplikasi cerdas sistem deteksi tindak kekerasan ini dapat menjadi rekomendasi solusi untuk mengurasi kasus perundungan dilingkungan pendidikan, terutama perundungan yang dilakukan dengan tindak kekerasan berdasarkan beberapa gerakan tubuh, seperti memukul, mendorong, dan menendang. Model deteksi tindak kekerasan yang telah diintegrasikan dengan aplikasi berbasis website yang dibangun berdasarkan kebutuhan pengguna, sehingga memberikan kemudahan pengguna untuk menggunakan aplikasi tersebut. Penelitian pada *computer vision* ini terutama pada bidang deteksi anomali, salah satunya deteksi tindak kekerasan hingga saat ini, masih berkembang. Untuk penelitian selanjutnya, pada proses pemilihan frame yang relevan terutama pada proses ekstraksi fitur masih dapat dikembangkan untuk menentukan model yang tepat, sehingga pemilihan frame tersebut efisien dan diharapkan dapat meningkatkan nilai akurasi dari pengujian model pada proses deteksi tindak kekerasan.

REFERENSI

- [1] S. Johansson, E. Myrberg, and A. Toropova, "School bullying: Prevalence and variation in and between school systems in TIMSS 2015," *Stud. Educ. Eval.*, vol. 74, no. June, p. 101178, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.stueduc.2022.101178.
- [2] A. Juliansen, R. S. Heriyanto, M. P. Muljono, C. L. Budiputri, Y. D. S. Sagala, and G. S. Octavius, "Mental health issues and quality of life amongst school-based adolescents in Indonesia," *J. Med. Surgery, Public Heal.*, vol. 2, no. October 2023, p. 100062, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.glmedi.2024.100062.
- [3] L. Smith *et al.*, "Temporal Trends in Bullying Victimization Among Adolescents Aged 12–15 Years From 29 Countries: A Global Perspective," *J. Adolesc. Heal.*, vol. 73, no. 3, pp. 582–590, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.jadohealth.2023.04.031.
- [4] N. Rose, "Catatan Akhir Tahun Pendidikan 2023, FSGI: Kasus Bullying Meningkat," *Detik.com*, Jakarta, 2023.
- [5] X. Hu *et al.*, "A weakly supervised framework for abnormal behavior detection and localization in crowded scenes," *Neurocomputing*, vol. 383, pp. 270–281, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.neucom.2019.11.087.
- [6] N. Honarjoo, A. Abdari, and A. Mansouri, "Violence Detection Using One-Dimensional Convolutional Networks," *2021 12th Int. Conf. Inf. Knowl. Technol. IKT 2021*, no. December, pp. 188–191, 2021, doi: 10.1109/IKT54664.2021.9685835.
- [7] Irfanullah, T. Hussain, A. Iqbal, B. Yang, and A. Hussain, "Real time violence detection in surveillance videos using Convolutional Neural Networks," *Multimed. Tools Appl.*, vol. 81, no. 26, pp. 38151–38173, Nov. 2022, doi: 10.1007/s11042-022-13169-4.
- [8] M. Biswas *et al.*, "State-of-the-Art Violence Detection Techniques: A review," *Asian J. Res. Comput.*

- Sci.*, no. February, pp. 29–42, 2022, doi: 10.9734/ajrcos/2022/v13i130305.
- [9] M. Ramzan *et al.*, “A Review on State-of-the-Art Violence Detection Techniques,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 107560–107575, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2932114.
- [10] V. Dandage, H. Gautam, A. Ghavale, R. Mahore, and A. Sonewar, “Review of Violence Detection System using Deep Learning,” *Int. Res. J. Eng. Technol.*, p. 1899, 2019.
- [11] K. E. Kendall and J. E. Kendall, “Systems Analysis and Design,” *Eval. Hum. Work. Fourth Ed.*, pp. 221–248, 2015, doi: 10.1201/b18362-20.
- [12] S. Tilley and H. J. Rosenblatt, *Systems Analysis and Design*. Cengage Learning EMEA, 2016.
- [13] K. B. Sahay, B. Balachander, B. Jagadeesh, G. Anand Kumar, R. Kumar, and L. Rama Parvathy, “A real time crime scene intelligent video surveillance systems in violence detection framework using deep learning techniques,” *Comput. Electr. Eng.*, vol. 103, no. 108319, p. 108319, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.compeleceng.2022.108319.
- [14] A. Karpathy, G. Toderici, S. Shetty, T. Leung, R. Sukthankar, and F. F. Li, “Large-scale video classification with convolutional neural networks,” *Proc. IEEE Comput. Soc. Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit.*, pp. 1725–1732, 2014, doi: 10.1109/CVPR.2014.223.
- [15] K.-E. Ko and K.-B. Sim, “Deep convolutional framework for abnormal behavior detection in a smart surveillance system,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 67, no. June 2017, pp. 226–234, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.engappai.2017.10.001.
- [16] W. Chu, H. Xue, C. Yao, and D. Cai, “Sparse Coding Guided Spatiotemporal Feature Learning for Abnormal Event Detection in Large Videos,” *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 21, no. 1, pp. 246–255, 2019, doi: 10.1109/TMM.2018.2846411.