Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
6 (2) 2026, Page: 29373-29380

Pengembangan Sistem Informasi Deteksi Dini Risiko Pohon Tumbang Berbasis Computer Vision dan Geographic Information System (GIS) pada Ruas Jalan Kota Padang

Riki Dwi Putra[1], Nugraha Rahmansyah[2], Vicky Ariandi[3]

[1]Institut Teknologi Al-Muhajirin
[2,3]Universitas Putra Indonesia YPTK Padang

rikidwiputra@gmail.com

Published: Juni, 2026

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem informasi deteksi dini risiko pohon tumbang berbasis *Computer Vision* dan *Geographic Information System* (GIS) pada ruas jalan Kota Padang. Sistem dirancang untuk mengidentifikasi kondisi pohon berisiko melalui analisis citra digital menggunakan metode *computer vision* serta pemetaan spasial berbasis GIS guna mengetahui lokasi rawan secara real-time. Data diperoleh melalui pengambilan citra lapangan, koordinat geografis, dan parameter kondisi pohon seperti kemiringan, kepadatan tajuk, dan kerusakan batang. Hasil pengembangan diharapkan mampu meningkatkan efektivitas mitigasi bencana, mendukung pengambilan keputusan pemerintah daerah, serta meminimalkan risiko kecelakaan akibat pohon tumbang di wilayah perkotaan.

Kata kunci: Computer Vision, Geographic Information System (GIS), Deteksi Dini Risiko Pohon Tumbang.

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Kota Padang sebagai salah satu kota besar di wilayah pesisir barat Pulau Sumatera memiliki karakteristik lingkungan perkotaan yang dipengaruhi oleh intensitas curah hujan tinggi, angin kencang, serta perubahan cuaca yang cukup ekstrem. Kondisi tersebut menyebabkan meningkatnya potensi terjadinya pohon tumbang pada berbagai ruas jalan perkotaan. Pohon tumbang tidak hanya menghambat aktivitas transportasi masyarakat, tetapi juga dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur, gangguan jaringan listrik, kecelakaan lalu lintas, bahkan korban jiwa. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem mitigasi yang mampu mendeteksi potensi risiko pohon tumbang secara lebih cepat, tepat, dan terukur.

Selama ini, pemantauan kondisi pohon di kawasan perkotaan umumnya masih dilakukan secara manual melalui inspeksi lapangan oleh petugas terkait. Pendekatan ini memiliki sejumlah keterbatasan, seperti membutuhkan waktu yang lama, biaya operasional yang relatif tinggi, serta ketergantungan pada kemampuan subjektif petugas dalam menilai kondisi fisik pohon. Selain itu, luasnya cakupan wilayah pemantauan menyebabkan tidak semua pohon dapat diperiksa secara berkala, sehingga risiko pohon tumbang sering kali sulit diprediksi secara dini. Akibatnya, tindakan preventif terhadap pohon berisiko tinggi belum dapat dilakukan secara optimal.

Perkembangan teknologi informasi, khususnya di bidang kecerdasan buatan, membuka peluang untuk meningkatkan efektivitas pengelolaan lingkungan perkotaan melalui sistem berbasis digital. Salah satu teknologi yang potensial digunakan adalah *computer vision*, yaitu teknologi yang memungkinkan komputer melakukan analisis terhadap objek visual melalui citra atau video secara

otomatis. Dalam konteks deteksi risiko pohon tumbang, *computer vision* dapat dimanfaatkan untuk mengenali karakteristik fisik pohon, seperti tingkat kemiringan batang, kerusakan struktur, kepadatan tajuk, serta indikasi pelapukan yang dapat menjadi faktor penyebab pohon tumbang. Dengan memanfaatkan algoritma berbasis *machine learning* atau *deep learning*, proses identifikasi dapat dilakukan lebih cepat dan konsisten dibandingkan metode konvensional.

Di sisi lain, penerapan *Geographic Information System* (GIS) berperan penting dalam pengelolaan data spasial berbasis lokasi. GIS memungkinkan informasi mengenai titik lokasi pohon berisiko dipetakan secara digital sehingga memudahkan proses monitoring dan pengambilan keputusan. Integrasi GIS dengan hasil analisis *computer vision* dapat menghasilkan sistem informasi yang tidak hanya mampu mendeteksi kondisi pohon berisiko, tetapi juga menyajikan visualisasi sebaran lokasi rawan pohon tumbang pada ruas jalan Kota Padang secara real-time. Informasi ini menjadi penting dalam mendukung perencanaan mitigasi dan tindakan preventif oleh pemerintah daerah.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *computer vision* telah diterapkan pada berbagai bidang, seperti pemantauan kesehatan tanaman, deteksi kerusakan infrastruktur, dan pengenalan objek berbasis citra digital. Sementara itu, GIS telah banyak digunakan dalam sistem mitigasi bencana dan pemetaan risiko lingkungan. Namun, integrasi kedua teknologi tersebut dalam pengembangan sistem informasi deteksi dini risiko pohon tumbang, khususnya pada konteks ruas jalan perkotaan di Kota Padang, masih belum banyak dikembangkan. Hal ini menunjukkan adanya peluang penelitian untuk menghadirkan inovasi berbasis teknologi yang lebih adaptif terhadap kebutuhan pengelolaan vegetasi perkotaan.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem informasi deteksi dini risiko pohon tumbang berbasis *computer vision* dan GIS pada ruas jalan Kota Padang. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu mengidentifikasi kondisi pohon berisiko secara otomatis dan memvisualisasikan lokasi pohon pada peta digital sebagai dasar pengambilan keputusan. Dengan adanya sistem ini, diharapkan upaya mitigasi risiko pohon tumbang dapat dilakukan secara lebih efektif, sehingga keselamatan masyarakat dan keberlangsungan aktivitas perkotaan dapat lebih terjamin.

TINJAUAN PUSTAKA

1. Sistem Informasi

Sistem informasi merupakan kombinasi antara manusia, perangkat keras, perangkat lunak, basis data, prosedur, dan jaringan komunikasi yang saling terintegrasi untuk mengumpulkan, mengolah, menyimpan, dan menyajikan informasi guna mendukung pengambilan keputusan. Dalam konteks mitigasi risiko lingkungan perkotaan, sistem informasi berfungsi sebagai sarana untuk mengelola data secara efektif sehingga dapat menghasilkan informasi yang cepat, akurat, dan relevan. Pengembangan sistem informasi pada bidang kebencanaan dan keselamatan publik menjadi penting untuk mendukung proses identifikasi risiko, pemantauan kondisi lapangan, serta pengambilan tindakan preventif secara tepat waktu. Pada penelitian ini, sistem informasi digunakan sebagai media integrasi data visual pohon, data spasial, serta klasifikasi tingkat risiko pohon tumbang pada ruas jalan Kota Padang.

2. Risiko Pohon Tumbang di Kawasan Perkotaan

Pohon tumbang merupakan salah satu risiko lingkungan yang sering terjadi di kawasan perkotaan, terutama pada wilayah dengan curah hujan tinggi dan kondisi cuaca ekstrem. Faktor penyebab pohon tumbang meliputi usia pohon, kondisi akar yang rapuh, kerusakan batang, tingkat kemiringan pohon, kepadatan tajuk, serangan penyakit, serta pengaruh lingkungan seperti angin kencang dan curah hujan tinggi. Pada kawasan jalan perkotaan, pohon tumbang dapat mengakibatkan terganggunya mobilitas masyarakat, kerusakan kendaraan, gangguan jaringan listrik, serta potensi kecelakaan yang membahayakan keselamatan pengguna jalan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan berbasis teknologi untuk mendukung deteksi dini terhadap pohon yang memiliki tingkat risiko tinggi.

3. Computer Vision dalam Analisis Objek

Computer Vision merupakan cabang kecerdasan buatan yang memungkinkan komputer melakukan interpretasi terhadap objek visual dari citra digital maupun video. Teknologi ini banyak digunakan untuk mengenali pola, klasifikasi objek, segmentasi citra, serta deteksi kondisi tertentu

secara otomatis. Dalam bidang lingkungan dan perkotaan, *computer vision* telah dimanfaatkan untuk mendeteksi kesehatan tanaman, identifikasi kerusakan infrastruktur, hingga pengawasan kondisi objek di lapangan secara real-time. Pada penelitian ini, *computer vision* digunakan untuk menganalisis karakteristik pohon berdasarkan citra digital, seperti kemiringan batang, kondisi fisik batang, kepadatan tajuk, dan indikasi kerusakan yang dapat meningkatkan risiko pohon tumbang. Implementasi algoritma *machine learning* atau *deep learning* memungkinkan proses identifikasi dilakukan secara lebih cepat dan konsisten dibandingkan metode inspeksi manual.

4. Geographic Information System (GIS)

Geographic Information System (GIS) merupakan sistem berbasis komputer yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, mengelola, menganalisis, dan memvisualisasikan data berbasis geografis. GIS memiliki kemampuan untuk memetakan informasi spasial secara interaktif sehingga memudahkan proses analisis lokasi dan pengambilan keputusan. Dalam bidang mitigasi bencana, GIS sering digunakan untuk pemetaan daerah rawan banjir, longsor, kebakaran, dan berbagai risiko lingkungan lainnya. Pada penelitian ini, GIS berfungsi untuk memvisualisasikan lokasi pohon yang terindikasi berisiko tumbang pada ruas jalan Kota Padang, sehingga pemerintah daerah dapat mengetahui titik rawan secara lebih akurat dan menentukan prioritas tindakan mitigasi.

5. Integrasi Computer Vision dan GIS

Integrasi *computer vision* dan GIS menjadi pendekatan inovatif dalam pengembangan sistem informasi berbasis spasial. *Computer vision* berperan dalam menghasilkan data hasil identifikasi kondisi pohon melalui analisis citra, sedangkan GIS digunakan untuk menyajikan hasil analisis tersebut dalam bentuk pemetaan geografis. Kombinasi kedua teknologi ini memungkinkan sistem memberikan informasi yang tidak hanya bersifat visual, tetapi juga berbasis lokasi secara real-time. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa integrasi teknologi visual dan spasial mampu meningkatkan akurasi pemantauan objek lingkungan serta mempercepat proses pengambilan keputusan. Oleh karena itu, penerapan integrasi *computer vision* dan GIS dalam deteksi dini risiko pohon tumbang di Kota Padang dinilai relevan untuk mendukung pengelolaan lingkungan perkotaan yang lebih efektif, adaptif, dan berkelanjutan.

METODOLOGI PENELITIAN



Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan pengembangan sistem informasi berbasis teknologi *Computer Vision* dan *Geographic Information System* (GIS) untuk mendeteksi dini risiko pohon tumbang pada ruas jalan Kota Padang. Metode ini dipilih karena berfokus pada proses perancangan, pengembangan, implementasi, serta evaluasi sistem yang dihasilkan agar sesuai dengan kebutuhan pengguna dan kondisi lapangan.

Tahapan penelitian dimulai dengan identifikasi masalah, yaitu menganalisis kondisi risiko pohon tumbang pada ruas jalan Kota Padang berdasarkan data kejadian sebelumnya, observasi lapangan, dan wawancara dengan pihak terkait seperti dinas lingkungan hidup dan pemerintah daerah. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui faktor penyebab pohon tumbang serta kebutuhan sistem deteksi dini yang efektif.

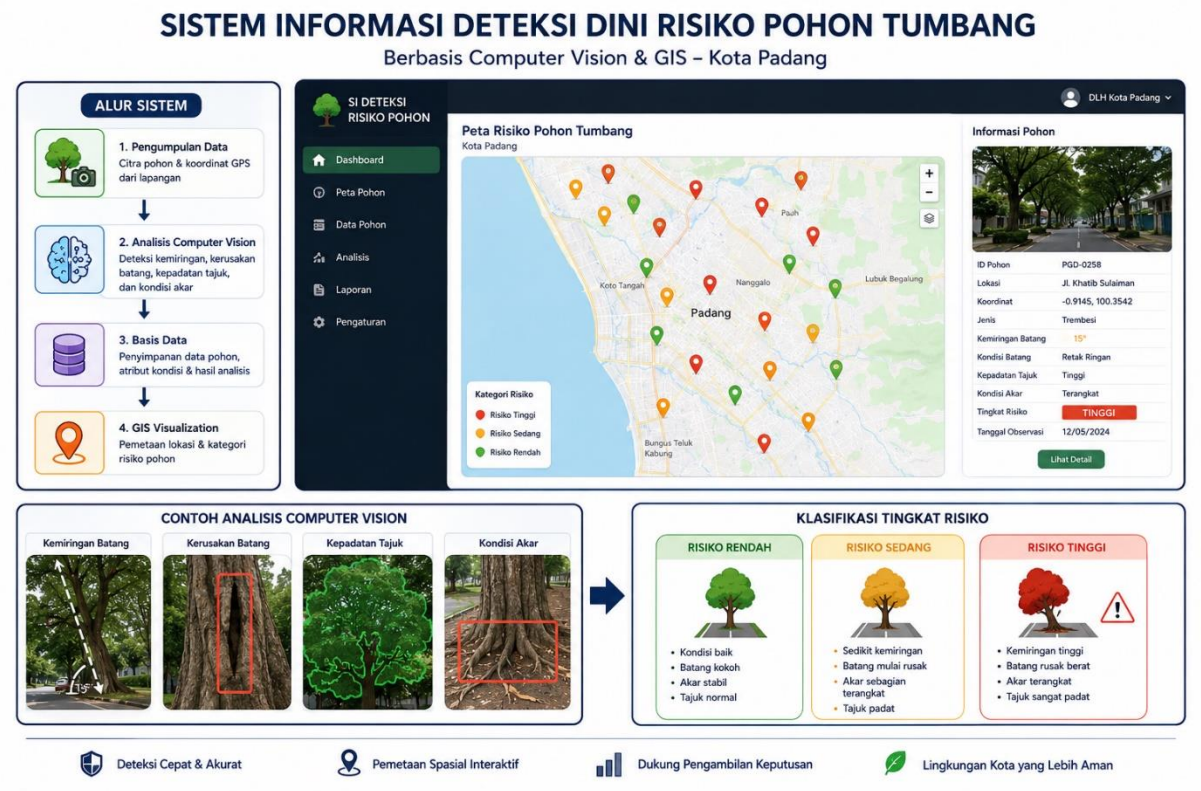
Selanjutnya dilakukan pengumpulan data, yang meliputi data citra pohon, koordinat geografis, dan atribut kondisi pohon. Pengambilan data dilakukan menggunakan kamera digital atau perangkat bergerak untuk memperoleh citra visual pohon di beberapa ruas jalan Kota Padang. Data geografis dikumpulkan menggunakan teknologi *Global Positioning System* (GPS) untuk menentukan lokasi titik pohon secara akurat. Selain itu, parameter pendukung seperti tingkat kemiringan batang, kondisi akar, kepadatan tajuk, dan kerusakan fisik pohon juga didokumentasikan sebagai variabel analisis.

Tahap berikutnya adalah pengembangan sistem, yang meliputi perancangan basis data, antarmuka pengguna, serta integrasi modul *computer vision* dan GIS. Teknologi *computer vision* digunakan untuk menganalisis citra pohon dan mengklasifikasikan tingkat risiko pohon tumbang menggunakan algoritma *machine learning* atau *deep learning*. Hasil klasifikasi kemudian diintegrasikan ke dalam platform GIS untuk menampilkan lokasi pohon berisiko dalam bentuk peta digital interaktif.

Setelah sistem dikembangkan, dilakukan pengujian sistem menggunakan metode *black box testing* untuk mengukur fungsi aplikasi serta uji akurasi model deteksi berdasarkan hasil klasifikasi pohon di lapangan. Evaluasi dilakukan untuk memastikan sistem mampu memberikan informasi risiko secara cepat, tepat, dan akurat. Hasil akhir penelitian berupa sistem informasi deteksi dini yang dapat membantu pemerintah Kota Padang dalam mitigasi risiko pohon tumbang secara lebih efektif dan berbasis data spasial.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengembangan Sistem Informasi



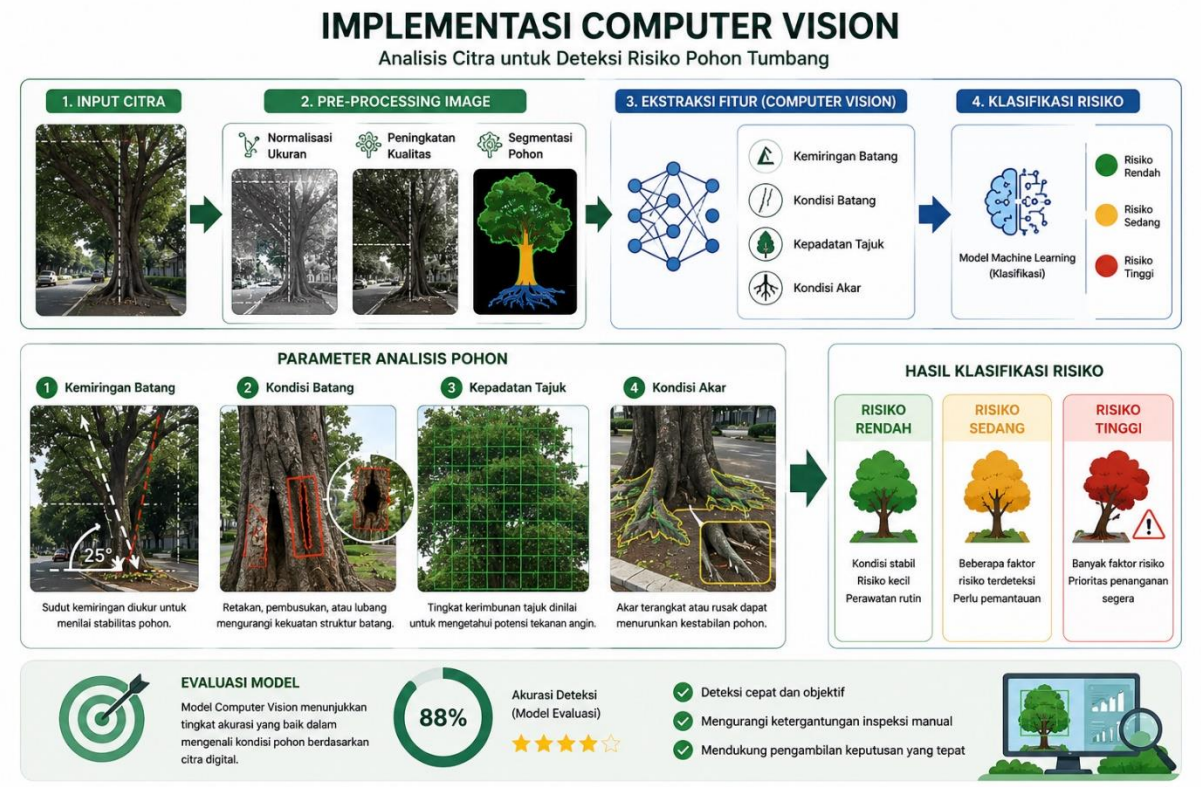
Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem informasi deteksi dini risiko pohon tumbang berbasis *Computer Vision* dan *Geographic Information System* (GIS) yang dirancang untuk membantu pemerintah daerah dalam melakukan pemantauan kondisi pohon pada ruas jalan Kota Padang secara lebih efektif. Sistem yang dikembangkan mampu mengidentifikasi tingkat risiko pohon tumbang

berdasarkan analisis citra visual pohon dan memetakan lokasi pohon berisiko pada peta digital berbasis GIS.

Pengembangan sistem dilakukan melalui integrasi beberapa komponen utama, yaitu modul pengumpulan data lapangan, modul analisis berbasis *computer vision*, basis data penyimpanan informasi pohon, serta visualisasi spasial berbasis GIS. Sistem dirancang menggunakan antarmuka yang sederhana agar mudah digunakan oleh operator maupun instansi terkait seperti Dinas Lingkungan Hidup Kota Padang. Pada halaman utama sistem, pengguna dapat melihat peta lokasi pohon, kategori tingkat risiko, serta informasi kondisi pohon secara rinci.

Data yang digunakan dalam penelitian diperoleh melalui observasi langsung pada beberapa ruas jalan utama Kota Padang dengan karakteristik kepadatan lalu lintas dan keberadaan pohon pelindung yang tinggi. Data tersebut meliputi citra digital pohon, koordinat geografis menggunakan *Global Positioning System* (GPS), serta atribut kondisi pohon seperti tingkat kemiringan batang, kepadatan tajuk, kerusakan batang, dan kondisi akar. Seluruh data kemudian diintegrasikan ke dalam basis data sistem sebagai sumber analisis.

2. Hasil Implementasi Computer Vision



Implementasi teknologi *computer vision* dilakukan untuk mendeteksi karakteristik visual pohon yang memiliki potensi risiko tumbang. Sistem memanfaatkan algoritma klasifikasi berbasis *machine learning* untuk mengenali pola tertentu dari citra pohon. Tahap awal dilakukan melalui proses *pre-processing image*, seperti normalisasi ukuran gambar, peningkatan kualitas citra, dan segmentasi objek pohon agar sistem dapat mengenali bagian batang, akar, dan tajuk secara lebih akurat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi beberapa parameter penting risiko pohon tumbang, antara lain:

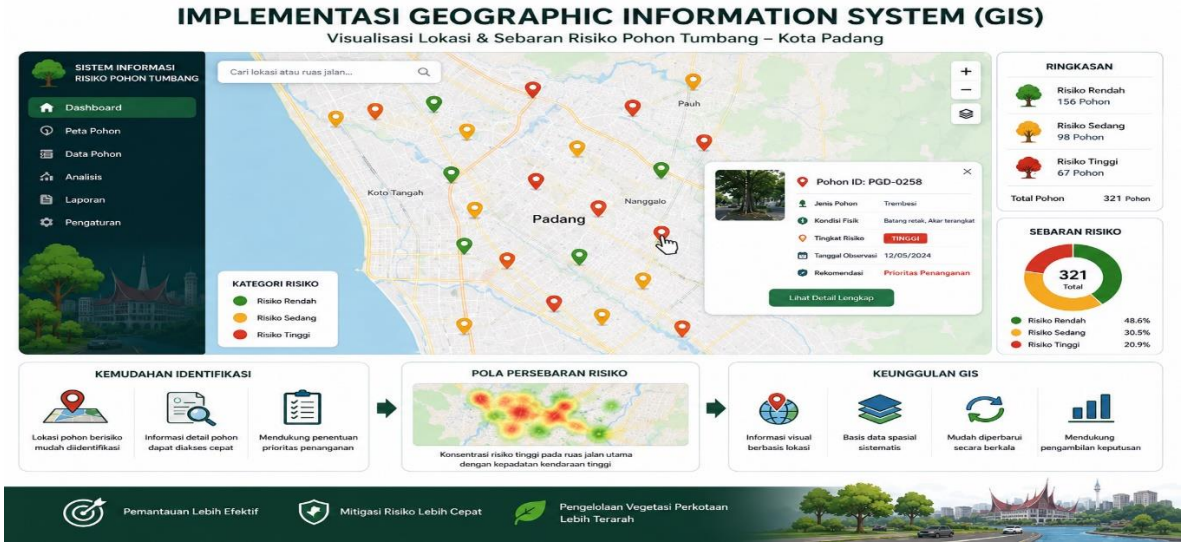
1. **Kemiringan batang pohon**, yaitu tingkat sudut kemiringan pohon terhadap permukaan tanah. Pohon dengan sudut kemiringan tinggi dikategorikan memiliki risiko lebih besar untuk tumbang.
2. **Kondisi batang pohon**, seperti retakan, pembusukan, atau lubang pada batang yang dapat mengurangi kekuatan struktur pohon.
3. **Kepadatan tajuk**, yaitu tingkat kerimbunan daun dan cabang pohon yang berpotensi meningkatkan tekanan angin saat cuaca buruk.

4. **Kondisi akar**, termasuk akar yang terangkat ke permukaan atau mengalami kerusakan akibat pembangunan infrastruktur jalan.

Berdasarkan hasil analisis *computer vision*, sistem melakukan klasifikasi risiko ke dalam tiga kategori, yaitu **risiko rendah**, **risiko sedang**, dan **risiko tinggi**. Pohon dengan kategori risiko tinggi ditandai sebagai prioritas penanganan karena berpotensi membahayakan keselamatan pengguna jalan.

Pada tahap evaluasi, model deteksi menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik dalam mengenali kondisi pohon berdasarkan citra digital. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan *computer vision* dapat menjadi solusi alternatif untuk menggantikan metode inspeksi manual yang selama ini membutuhkan waktu dan tenaga yang lebih besar.

3. Hasil Implementasi Geographic Information System (GIS)



Setelah proses klasifikasi selesai dilakukan, hasil analisis pohon diintegrasikan ke dalam sistem GIS untuk memvisualisasikan lokasi pohon berisiko secara geografis. Sistem GIS menampilkan titik lokasi pohon pada peta digital interaktif Kota Padang dengan simbol warna berbeda berdasarkan tingkat risiko. Warna hijau digunakan untuk kategori risiko rendah, kuning untuk risiko sedang, dan merah untuk risiko tinggi.

Implementasi GIS memberikan kemudahan bagi pengguna dalam mengidentifikasi lokasi prioritas penanganan pohon secara cepat. Pengguna dapat memilih titik lokasi tertentu pada peta untuk melihat informasi detail pohon, seperti jenis pohon, kondisi fisik, tingkat risiko, tanggal observasi, serta rekomendasi tindakan yang perlu dilakukan.

Selain itu, sistem juga mampu menampilkan pola persebaran pohon berisiko berdasarkan wilayah tertentu. Hasil pemetaan menunjukkan bahwa beberapa ruas jalan utama dengan tingkat kepadatan kendaraan tinggi memiliki konsentrasi pohon berisiko lebih besar dibandingkan ruas jalan lainnya. Hal ini menjadi informasi penting bagi pemerintah daerah dalam menentukan prioritas pemeliharaan vegetasi kota.

Keunggulan penggunaan GIS pada penelitian ini terletak pada kemampuannya dalam menyajikan informasi secara visual dan berbasis lokasi, sehingga mempermudah pengambilan keputusan. Jika sebelumnya identifikasi pohon dilakukan secara manual dan tidak terstruktur, maka melalui GIS pemerintah dapat memiliki basis data spasial yang lebih sistematis dan mudah diperbarui secara berkala.

4. Pengujian dan Evaluasi Sistem

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode **Black Box Testing** untuk memastikan bahwa seluruh fitur berjalan sesuai fungsi yang diharapkan. Pengujian dilakukan pada fitur input data pohon, unggah citra, proses analisis *computer vision*, klasifikasi tingkat risiko, dan tampilan peta GIS.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fungsi sistem berjalan dengan baik tanpa ditemukan kesalahan signifikan pada proses input maupun keluaran sistem. Sistem mampu menampilkan hasil klasifikasi risiko secara otomatis dan memetakan lokasi pohon sesuai koordinat GPS yang telah dimasukkan.

Selain pengujian fungsional, dilakukan pula evaluasi terhadap tingkat akurasi sistem dengan membandingkan hasil klasifikasi sistem terhadap hasil inspeksi manual oleh petugas lapangan. Hasil evaluasi menunjukkan adanya tingkat kesesuaian yang cukup tinggi antara prediksi sistem dan kondisi aktual pohon di lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis *computer vision* dan GIS memiliki potensi besar dalam meningkatkan efektivitas mitigasi risiko pohon tumbang.

5. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi *computer vision* dan GIS mampu memberikan pendekatan baru dalam pengelolaan risiko pohon tumbang di kawasan perkotaan. Penggunaan *computer vision* terbukti membantu proses identifikasi kondisi pohon secara lebih cepat, objektif, dan konsisten dibandingkan metode inspeksi manual. Sistem juga mampu mengurangi ketergantungan terhadap subjektivitas petugas dalam menilai kondisi fisik pohon.

Di sisi lain, integrasi dengan GIS memberikan nilai tambah berupa kemampuan visualisasi spasial yang mendukung proses pengambilan keputusan berbasis lokasi. Pemerintah Kota Padang dapat memanfaatkan sistem ini untuk menentukan prioritas pemangkasan, perawatan, atau penebangan pohon berdasarkan tingkat risiko yang dihasilkan sistem.

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, seperti jumlah data citra pohon yang belum terlalu besar dan keterbatasan kondisi pencahayaan saat pengambilan gambar yang dapat memengaruhi hasil deteksi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan dataset yang lebih luas, menerapkan algoritma *deep learning* yang lebih kompleks, serta mengintegrasikan data cuaca dan kecepatan angin secara real-time untuk meningkatkan akurasi prediksi.

Secara keseluruhan, sistem informasi deteksi dini risiko pohon tumbang berbasis *computer vision* dan GIS yang dikembangkan dalam penelitian ini terbukti mampu memberikan solusi inovatif dalam mendukung mitigasi risiko lingkungan perkotaan. Implementasi sistem diharapkan dapat membantu pemerintah Kota Padang dalam menciptakan lingkungan jalan yang lebih aman, mengurangi potensi kecelakaan akibat pohon tumbang, serta meningkatkan efektivitas pengelolaan ruang hijau perkotaan secara berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem informasi deteksi dini risiko pohon tumbang berbasis *Computer Vision* dan *Geographic Information System* (GIS) pada ruas jalan Kota Padang. Sistem mampu mengidentifikasi kondisi pohon berisiko melalui analisis citra digital berdasarkan parameter seperti kemiringan batang, kondisi akar, kerusakan fisik, dan kepadatan tajuk. Hasil klasifikasi risiko kemudian divisualisasikan dalam peta digital berbasis GIS untuk mempermudah pemantauan lokasi rawan. Implementasi sistem menunjukkan potensi dalam meningkatkan efektivitas mitigasi risiko, mempercepat pengambilan keputusan, serta membantu pemerintah daerah menciptakan lingkungan jalan yang lebih aman dan berkelanjutan.

SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan dataset citra pohon yang lebih luas dan beragam untuk meningkatkan akurasi deteksi. Integrasi data cuaca, kecepatan angin, dan sensor IoT secara *real-time* juga perlu dilakukan agar sistem mampu memberikan prediksi risiko pohon tumbang yang lebih cepat, akurat, dan adaptif.

REFERENCES

Artificial Intelligence: A Modern Approach. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach* (4th ed.). Pearson.

Deep Learning for Computer Vision. Shanmugamani, R. (2021). *Deep Learning for Computer Vision: Expert Techniques to Train Advanced Neural Networks Using TensorFlow and Keras* (2nd ed.). Packt Publishing.

Computer Vision with Machine Learning. Planche, B., & Andres, E. (2020). *Computer Vision with Machine Learning*. Packt Publishing.

GIS Fundamentals. Bolstad, P. (2022). *GIS Fundamentals: A First Text on Geographic Information Systems* (7th ed.). XanEdu Publishing.
Geographic Information Systems and Science. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2021). *Geographic Information Systems and Science* (5th ed.). Wiley.
Hands-On Geographic Information Systems. Prasad, S., & Roy, S. (2021). *Hands-On Geographic Information Systems*. Packt Publishing.
Research Methods for Business Students. Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2023). *Research Methods for Business Students* (9th ed.). Pearson.
Information Systems for Business and Beyond. Bourgeois, D. T. (2020). *Information Systems for Business and Beyond*. Saylor Academy.
Machine Learning with Python. Raschka, S., Liu, Y., & Mirjalili, V. (2022). *Machine Learning with PyTorch and Scikit-Learn*. Packt Publishing.
Deep Learning. Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2021). *Deep Learning*. MIT Press.
Data Science for GIS. Garrard, C. (2020). *Geoprocessing with Python*. Manning Publications.
Smart Cities and Artificial Intelligence. Allam, Z. (2020). *Cities and the Digital Revolution: Aligning Technology and Humanity*. Palgrave Macmillan.
Urban Informatics. Foth, M., Choi, J. H. J., & Satchell, C. (2021). *Urban Informatics*. Springer.
Computer Vision: Algorithms and Applications. Szeliski, R. (2022). *Computer Vision: Algorithms and Applications* (2nd ed.). Springer.