

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemacetan lalu lintas merupakan salah satu permasalahan utama di daerah perkotaan yang berdampak signifikan terhadap mobilitas, efisiensi waktu, dan kualitas udara. Dengan meningkatnya jumlah kendaraan dan pertumbuhan populasi, solusi yang efektif untuk mendeteksi dan memprediksi kemacetan menjadi kebutuhan mendesak. Teknologi berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) telah menunjukkan potensi besar dalam mengatasi permasalahan ini melalui sistem deteksi dan prediksi lalu lintas.

Perkembangan kecerdasan buatan, khususnya *computer vision* dan *deep learning*, membuka peluang untuk membangun sistem pemantauan lalu lintas yang lebih adaptif. Dalam konteks data visual, model deteksi objek seperti Mask R-CNN yang didukung backbone ResNet memiliki kemampuan yang baik untuk mengenali kendaraan pada citra atau video lalu lintas. Di sisi lain, model Long Short-Term Memory (LSTM) efektif digunakan untuk mempelajari pola perubahan data secara temporal sehingga sesuai untuk prediksi kondisi lalu lintas berbasis urutan waktu. Uraian ini juga sudah sejalan dengan landasan teori yang digunakan dalam tesis, yaitu Mask R-CNN, ResNet, dan LSTM sebagai komponen utama sistem hybrid.

Optimasi model *hybrid* yang menggabungkan *Mask R-CNN* berbasis *ResNet* [2] dan *LSTM* berpotensi memberikan solusi yang lebih akurat dan efisien dalam memahami pola lalu lintas serta memprediksi tingkat kemacetan di persimpangan jalan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengoptimalkan sistem berbasis *deep learning* guna mendeteksi serta memprediksi kemacetan dengan lebih baik dibandingkan metode konvensional. Di ranah prediksi *temporal*, model seperti *Long Short-Term Memory (LSTM)* telah digunakan untuk memproyeksikan aliran lalu lintas berdasarkan data historis. Namun mayoritas penelitian masih mengerjakan deteksi dan prediksi secara terpisah dan belum banyak mengintegrasikan keduanya untuk persimpangan yang sangat dinamis.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, pemilihan metode *hybrid* berupa kombinasi *Mask R-CNN-ResNet* dan *LSTM* menjadi sangat tepat. Dengan *Mask R-CNN-ResNet* sebagai komponen visual/*spasial*, sistem dapat melakukan deteksi dan segmentasi kendaraan secara akurat dalam citra atau *video*. Kemudian output *spasial* ini dapat dirangkaikan dengan *LSTM* yang mampu menangani aspek *temporal*, yakni memprediksi kecenderungan kemacetan di masa datang berdasarkan urutan waktu. Kombinasi ini memungkinkan sistem tidak hanya

mengenali kondisi lalu lintas saat ini tetapi juga memproyeksikan situasi yang akan datang secara adaptif.

Dengan demikian, penelitian ini difokuskan pada pengembangan dan evaluasi model hybrid Mask R-CNN–ResNet dan LSTM untuk mendeteksi kendaraan serta memprediksi kemacetan di persimpangan jalan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan sistem transportasi cerdas berbasis data visual, khususnya dalam membangun pipeline spasial-temporal yang lebih terintegrasi untuk analisis lalu lintas perkotaan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan utama dalam penelitian ini tidak hanya terletak pada tingginya kompleksitas lalu lintas di persimpangan jalan, tetapi juga pada keterbatasan pendekatan tunggal dalam mendeteksi dan memprediksi kemacetan secara akurat. Model deteksi berbasis visi komputer seperti *Mask R-CNN* memiliki keunggulan dalam mengenali objek kendaraan secara *spasial*, namun belum mampu menangkap dinamika perubahan lalu lintas dari waktu ke waktu. Sebaliknya, model prediksi *temporal* seperti *Long Short-Term Memory (LSTM)* mampu memodelkan pola deret waktu, tetapi bergantung pada kualitas fitur input yang diberikan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini dirumuskan secara spesifik dan terukur sebagai berikut:

1. Bagaimana kinerja model Mask R-CNN berbasis ResNet dalam mendeteksi kendaraan pada data video lalu lintas di persimpangan jalan?
2. Bagaimana mekanisme transformasi hasil deteksi kendaraan menjadi fitur spasio-temporal yang dapat digunakan sebagai input model LSTM?
3. Bagaimana kinerja model hybrid Mask R-CNN–ResNet dan LSTM dalam memprediksi indeks kemacetan berdasarkan metrik evaluasi yang digunakan dalam penelitian?

1.3 Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengoptimalkan model *hybrid* berbasis *Mask R-CNN–ResNet* dan *Long Short-Term Memory (LSTM)* dalam mendeteksi dan memprediksi kemacetan lalu lintas di persimpangan jalan. Secara khusus, tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis kinerja Mask R-CNN berbasis ResNet dalam mendeteksi kendaraan pada data video lalu lintas.

2. Merancang mekanisme integrasi *spasial-temporal* dengan mengonversi output deteksi *Mask R-CNN-ResNet* menjadi fitur sekuensial yang dapat diproses oleh *LSTM*.
3. Mengevaluasi peningkatan kinerja model *hybrid* dalam memprediksi kemacetan lalu lintas berdasarkan metrik kuantitatif seperti mAP, IoU, RMSE, dan MAE, serta membandingkannya dengan model deteksi dan prediksi tunggal.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat baik secara teoritis maupun praktis. Secara **teoritis**, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang *computer vision* dan *deep learning*, khususnya pada penerapan model *Hybrid Mask R-CNN-ResNet* dan *LSTM* dalam konteks deteksi dan prediksi kemacetan. Hasil penelitian ini dapat memperkaya kajian ilmiah mengenai integrasi antara pemrosesan *spasial* dan *temporal* pada data *video* lalu lintas, serta memberikan dasar bagi pengembangan model-model serupa di masa mendatang.

Secara praktis, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi instansi pemerintah, pengelola transportasi, maupun pengembang sistem cerdas dalam menerapkan teknologi berbasis kecerdasan buatan untuk pemantauan lalu lintas. Model *hybrid* yang dihasilkan diharapkan mampu membantu dalam proses pengambilan keputusan, seperti pengaturan durasi lampu lalu lintas secara adaptif dan deteksi dini terhadap potensi kemacetan. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai dasar pengembangan sistem manajemen lalu lintas berbasis data di kota-kota besar di Indonesia.

Selain manfaat teoritis dan praktis tersebut, penelitian ini juga diharapkan memberikan kontribusi teknis yang terukur dalam pengembangan sistem deteksi dan prediksi kemacetan berbasis *deep learning*. Model *hybrid Mask R-CNN-ResNet* dan *LSTM* yang diusulkan ditargetkan mampu meningkatkan akurasi deteksi kepadatan kendaraan yang diukur melalui nilai mean Average Precision (mAP) dan Intersection over Union (IoU), serta menurunkan tingkat kesalahan prediksi kemacetan yang diukur menggunakan Root Mean Square Error (RMSE) dan Mean Absolute Error (MAE) dibandingkan dengan pendekatan model tunggal. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya bersifat konseptual, tetapi juga memberikan dasar teknis yang dapat direplikasi dan dikembangkan lebih lanjut dalam implementasi sistem transportasi cerdas di kawasan perkotaan.

1.5 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada pengembangan sistem deteksi dan prediksi kemacetan di **jalan perkotaan** menggunakan data citra atau *video* dari dataset. Fokus penelitian diarahkan pada pengolahan data visual untuk mengenali objek kendaraan, menganalisis kepadatan lalu lintas, serta memprediksi kondisi kemacetan berdasarkan urutan waktu. Adapun ruang lingkup penelitian ini mencakup beberapa aspek sebagai berikut:

1. Aspek Objek Penelitian

Penelitian ini berfokus pada proses deteksi dan prediksi kemacetan di persimpangan jalan dengan memanfaatkan data *video* lalu lintas. Objek utama penelitian adalah kendaraan yang terekam oleh kamera pengawas (*CCTV traffic*). Fokus analisis diarahkan pada pengenalan kendaraan, penghitungan kepadatan lalu lintas, serta analisis perubahan kondisi arus kendaraan dari waktu ke waktu.

2. Aspek Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini bersumber dari *Dataset* publik *UA-DETRAC (University at Albany - DETRAC)* yang dapat diakses melalui <http://detrac-db.rit.albany.edu/>. *Dataset* ini berisi lebih dari 100 *video* lalu lintas dengan berbagai kondisi cuaca (cerah, hujan, malam hari) dan tingkat kepadatan lalu lintas yang berbeda. Selain *Dataset* tersebut, penelitian ini juga menggunakan data tambahan dari rekaman kamera CCTV di lingkungan perkotaan Indonesia sebagai data validasi untuk menilai performa model pada kondisi nyata.

3. Aspek Cakupan Analisis

Analisis penelitian difokuskan pada dua tahap utama, yaitu deteksi kendaraan berbasis *Mask R-CNN-ResNet* dan prediksi kemacetan berbasis *LSTM*. Proses penelitian ini dilaksanakan dalam lingkungan eksperimental dan simulasi komputer, bukan pada sistem lalu lintas nyata secara langsung. Model yang dikembangkan dievaluasi menggunakan data *video* yang telah tersedia, untuk menilai kemampuan sistem dalam mengenali kepadatan kendaraan serta memperkirakan potensi kemacetan berdasarkan urutan waktu. Penelitian ini tidak membahas faktor non-visual seperti kondisi sosial, cuaca ekstrem, perilaku pengemudi, atau pengaruh kebijakan lalu lintas, karena fokus utama berada pada pengembangan dan pengujian model berbasis *deep learning* di tingkat konseptual dan komputasional.

4. Aspek Batasan Penelitian

a) Penelitian ini menggunakan data visual (*video*) sebagai sumber utama, tanpa melibatkan sensor IoT, data GPS, atau data numerik eksternal lainnya. Seluruh data

yang digunakan merupakan data sekunder yang telah tersedia secara publik dan diproses di lingkungan komputerisasi, bukan hasil pengambilan langsung di lapangan.

b) Area pengujian dibatasi pada persimpangan empat arah (*cross intersection*), yang digunakan sebagai representasi umum dari kondisi lalu lintas perkotaan. Analisis dilakukan secara digital terhadap *video* lalu lintas, tanpa kegiatan observasi fisik di lokasi sebenarnya.

c) Penelitian ini tidak membahas integrasi langsung dengan sistem manajemen lalu lintas pemerintah, melainkan berfokus pada pengembangan dan pengujian model berbasis *machine learning* di tingkat simulasi. Hasil penelitian berupa model konseptual yang dapat menjadi dasar untuk penelitian lanjutan menuju tahap implementasi.

d) Evaluasi model dilakukan sepenuhnya dalam lingkungan eksperimental, dengan menggunakan metrik performa *mean Average Precision (mAP)*, *Intersection over Union (IoU)*, *Root Mean Square Error (RMSE)*, dan *Mean Absolute Error (MAE)*. Evaluasi dilakukan untuk menilai akurasi dan efisiensi model secara komputasional, bukan pengujian sistem di dunia nyata.

Kebaruan penelitian ini terletak pada perancangan dan optimasi arsitektur *hybrid* yang mengintegrasikan hasil segmentasi instansi kendaraan dari *Mask R-CNN* berbasis *ResNet* sebagai fitur *spasial* yang dikonversi secara sistematis menjadi input sekuensial bagi model *Long Short-Term Memory (LSTM)*. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang umumnya memisahkan proses deteksi kendaraan dan prediksi kemacetan, penelitian ini menyatukan kedua proses tersebut dalam satu *pipeline spasial-temporal* yang dirancang khusus untuk konteks persimpangan jalan yang dinamis. Pendekatan ini memungkinkan peningkatan konsistensi deteksi serta akurasi prediksi kemacetan secara kuantitatif.

Kontribusi penelitian ini terletak pada evaluasi pendekatan *pipeline spasial-temporal* yang mengintegrasikan hasil deteksi kendaraan dari *Mask R-CNN* berbasis *ResNet* dengan pemodelan deret waktu menggunakan *LSTM* untuk merepresentasikan perubahan kepadatan lalu lintas pada data video persimpangan jalan.