

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Kemacetan lalu lintas di kota besar menjadi masalah global yang semakin meningkat, seiring dengan kenaikan jumlah kendaraan pribadi dan urbanisasi yang pesat. Dari tahun 2015 hingga 2024, terjadi peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia sekitar 55,4%—dari 105.303.318 menjadi 163.689.374 kendaraan [1], [2]. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah cara atau sistem yang dapat memantau dan mengendalikan arus lalu lintas secara lebih efisien. Teknologi seperti kamera dan berbagai sensor dapat diaplikasikan untuk memantau kendaraan dan lalu lintas secara langsung.

Sebelumnya, sistem pemantauan lalu lintas sudah pernah diterapkan dengan menggunakan sensor induktif [3]. Hanya saja, terdapat beberapa kekurangan dalam penerapannya. Untuk menginstalasi sensor induktif dilakukan penggalian jalan terlebih dahulu sehingga memerlukan waktu yang cukup lama dan menutup akses jalan selama beberapa waktu. Dari kekurangan tersebut, biaya dan waktu yang dikeluarkan dalam menerapkan sensor induktif untuk sistem pemantauan lalu lintas tidak efektif.

Akan tetapi, sensor lain yang telah digunakan seperti sensor induktif dan kamera tidak dapat digunakan secara efektif dalam beberapa hal seperti ketidakakuratan dalam menentukan kecepatan kendaraan dan tidak dapat bekerja pada kondisi cuaca yang ekstrem.

Selain sensor induktif, kamera juga diterapkan dalam sistem pemantauan lintas. Hanya saja, kamera dalam pemantauan lalu lintas memiliki kekurangan yang cukup fatal. Variabilitas intensitas cahaya, kondisi cuaca yang ekstrem, dan warna kendaraan yang berbeda menjadi salah satu faktor penyebab ketidakakuratan deteksi dan pelacakan kendaraan [4]. Selain itu, kamera tidak dapat mengukur kecepatan kendaraan yang melintas karena kamera hanya menangkap gambar statis pada satu waktu tertentu.

Salah satu teknologi yang masih diteliti hingga kini adalah radar, yang dulunya hanya digunakan di sektor militer, penerbangan, dan meteorologi karena keterbatasan biaya, teknologi, dan regulasi [5]. Namun, dengan berkembangnya teknologi dan regulasi alokasi frekuensi untuk penggunaan komersial, radar kini dapat diaplikasikan di berbagai sektor, termasuk pemantauan lalu lintas.

Radar *mmWave* (millimeter wave) menawarkan solusi yang menjanjikan untuk mengatasi keterbatasan sistem pemantauan lalu lintas konvensional. Keunggulan utama teknologi radar *mmWave* terletak pada ketahanannya terhadap gangguan lingkungan seperti perubahan intensitas cahaya antara siang dan malam, variasi warna kendaraan, serta kemampuan beroperasi optimal dalam kondisi cuaca ekstrem seperti hujan deras dan kabut tebal. Teknologi ini mampu mendeteksi kecepatan objek dengan akurasi tinggi dan memberikan informasi jarak yang presisi dalam real-time [6].

Meskipun demikian, radar *mmWave* masih memiliki keterbatasan dalam memberikan informasi visual detail seperti jenis kendaraan, pelat nomor, atau karakteristik visual lainnya yang penting untuk aplikasi pemantauan lalu lintas komprehensif. Dalam konteks ini, penggabungan radar *mmWave* dengan sistem kamera dapat memberikan hasil yang lebih optimal, di mana radar *mmWave* berfungsi sebagai sensor utama untuk deteksi jarak dan kecepatan yang robust, sementara kamera melengkapi dengan informasi visual yang diperlukan [7]. Kombinasi ini memungkinkan sistem untuk beroperasi secara handal dalam berbagai kondisi lingkungan sambil tetap memberikan informasi komprehensif untuk analisis lalu lintas yang akurat.

Dalam tugas akhir ini, radar akan digunakan sebagai satu-satunya sensor untuk sistem pemantauan lalu lintas. Tujuan utamanya adalah mengembangkan metode pendeteksian dan pelacakan objek menggunakan radar yang efektif dan mampu beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan. Metode ini juga diharapkan lebih mudah diinstalasi dibandingkan dengan metode yang sudah ada. Pengembangan metode yang andal berbasis radar ini diharapkan dapat menjadi dasar untuk pengembangan lebih lanjut di masa depan, khususnya dalam penerapan fusi sensor atau *sensor fusion* dengan kamera.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan di atas, maka rumusan masalah dalam Tugas Akhir ini diantaranya:

1. Bagaimana penerapan metode yang tepat untuk melakukan pelacakan terhadap banyak kendaraan secara simultan di lalu lintas?
2. Bagaimana cara menentukan kecepatan masing-masing kendaraan dalam lalu lintas menggunakan radar?
3. Bagaimana penerapan sistem pemantauan lalu lintas per yang akurat dan efektif di jalan raya menggunakan radar?

1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Mampu memilih dan menerapkan metode pelacakan multi kendaraan yang tepat.
2. Mengembangkan sistem yang dapat menentukan kecepatan masing-masing kendaraan dari data yang diperoleh oleh radar.
3. Merancang sistem pemantauan lalu lintas yang dapat menghitung jumlah kendaraan dengan akurasi 98% dan melacak kendaraan dengan jarak maksimal 20 m.

1.4. Manfaat Hasil Penelitian

Dengan menerapkan sistem pemantauan lalu lintas menggunakan radar yang efektif, maka data mengenai kondisi arus lalu lintas dapat diperoleh secara real-time. Sistem ini mampu mengidentifikasi densitas kendaraan pada setiap lajur dan mengumpulkan informasi yang akurat mengenai pola kemacetan di berbagai titik. Data ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan pengaturan lampu lalu lintas, misalnya, dengan menyesuaikan durasi lampu hijau agar arus di satu atau beberapa arah bisa diprioritaskan sesuai kebutuhan lalu lintas saat itu.

Selain itu, data hasil pemantauan lalu lintas berbasis radar dapat dimanfaatkan oleh pihak berwenang sebagai dasar untuk perencanaan dan perbaikan infrastruktur jalan yang lebih tepat sasaran, serta untuk memberikan informasi kemacetan kepada masyarakat. Informasi ini dapat membantu pengendara dalam mengambil keputusan rute terbaik sehingga dapat mengurangi kepadatan di area tertentu.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki cakupan yang cukup luas terkait sistem pemantauan lalu lintas berbasis radar. Oleh karena itu, untuk menjaga fokus penelitian dan memastikan hasil yang lebih mendalam dan terarah, diperlukan beberapa batasan dalam ruang lingkup penelitian ini. Adapun batasan-batasan yang diterapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem pemantauan lalu lintas yang dikembangkan dalam penelitian ini hanya akan difokuskan pada identifikasi dan pelacakan kendaraan roda dua dan kendaraan roda empat.
2. Sudut pandang azimuth dari radar terhadap lalu lintas adalah 120 derajat.
3. Sudut pandang elevasi dari radar terhadap lalu lintas adalah 30 derajat.
4. Jarak maksimum target yang dapat diukur dengan jelas oleh sistem adalah 50 m.
5. Jarak radar terhadap tanah adalah 3 m.
6. Jumlah kendaraan yang dapat dideteksi dan dilacak dalam satu waktu adalah 25 buah kendaraan.
7. Sistem ini melakukan pendeteksian dan pelacakan dengan frekuensi 20 Hz sehingga tampilan pada layar diperbarui sebanyak 20 kali setiap detik.

1.6. Metode Penelitian

Metode atau cara pendekatan yang akan digunakan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini adalah:

1. Studi Literatur

Tahap awal penelitian ini akan melibatkan studi literatur mendalam untuk memahami landasan teori, penelitian terdahulu, dan teknologi terkini yang relevan

dengan sistem pemantauan lalu lintas dan penggunaan radar. Penelusuran akan dilakukan pada publikasi ilmiah, jurnal, prosiding konferensi, dan sumber informasi lainnya untuk mengidentifikasi metode, algoritma, dan sistem yang telah dikembangkan sebelumnya. Studi literatur ini bertujuan untuk membangun kerangka konseptual, mengidentifikasi celah penelitian, dan memandu perancangan serta implementasi sistem pemantauan lalu lintas berbasis radar yang akan dilakukan.

2. Pengukuran Empiris

Pengukuran empiris akan dilakukan untuk mengumpulkan data lalu lintas aktual menggunakan sensor radar yang telah dipilih. Tahap ini melibatkan penempatan sensor radar di lokasi-lokasi strategis yang representatif guna menangkap data, seperti lokasi kendaraan, jarak antar kendaraan, kecepatan kendaraan, dan volume lalu lintas. Data yang terkumpul akan menjadi dasar untuk menganalisis dan memvalidasi kinerja sistem pemantauan lalu lintas yang dikembangkan. Prosedur pengukuran akan dirancang dengan cermat untuk memastikan akurasi dan reliabilitas data yang diperoleh.

3. Analisis Statistik

Data yang diperoleh dari pengukuran empiris akan dianalisis secara statistik untuk mendapatkan informasi yang bermakna tentang karakteristik lalu lintas. Analisis ini akan mencakup penerapan teknik statistik seperti perhitungan nilai rata-rata, standar deviasi, distribusi frekuensi kecepatan kendaraan, dan analisis korelasi antara parameter lalu lintas yang berbeda. Analisis statistik ini penting untuk memahami performa sensor radar dalam berbagai kondisi lalu lintas, mengidentifikasi pola lalu lintas yang penting, dan mengukur akurasi serta keandalan data yang dihasilkan oleh sensor radar. Hasil analisis statistik ini akan menjadi dasar untuk mengevaluasi efektivitas metode yang digunakan dan memberikan masukan untuk perbaikan di masa mendatang.

4. Simulasi

Untuk menguji dan memvalidasi algoritma pemrosesan sinyal radar serta sistem pemantauan secara keseluruhan tanpa terbatas kondisi lapangan, akan dilakukan sebuah simulasi. Simulasi ini melibatkan pembuatan model lingkungan

lalu lintas virtual yang mencakup berbagai skenario, seperti tingkat kepadatan lalu lintas yang berbeda, variasi kecepatan kendaraan, dan beragam jenis kendaraan. Simulasi ini memungkinkan pengujian algoritma dalam berbagai kondisi yang terkontrol dan membantu mengidentifikasi potensi masalah atau keterbatasan sistem sebelum diimplementasikan di dunia nyata.

5. Revisi

Proses dalam pengembangan Tugas Akhir ini bersifat iteratif sehingga revisi akan menjadi bagian penting dari metodologi. Berdasarkan hasil analisis data empiris, simulasi, dan evaluasi performa sistem, akan dilakukan revisi terhadap berbagai aspek penelitian. Revisi ini dapat mencakup penyesuaian metode pendeteksian dan pelacakan yang digunakan, parameter algoritma, modifikasi desain sistem pemantauan, atau bahkan perubahan strategi pengukuran jika diperlukan. Tujuan revisi adalah untuk meningkatkan akurasi, keandalan, dan efisiensi sistem pemantauan lalu lintas berbasis radar yang sedang dikembangkan.

6. Perancangan

Tahap perancangan akan difokuskan pada pengembangan arsitektur sistem pemantauan lalu lintas yang efektif, dengan sensor radar sebagai komponen utama. Perancangan ini mencakup pengembangan algoritma pemrosesan sinyal yang efisien, yang telah didapatkan sebelumnya, untuk mendeteksi dan melacak kendaraan dan perancangan antarmuka untuk menampilkan informasi lalu lintas yang relevan kepada pengguna. Fokus utama perancangan akan diarahkan pada bagaimana data radar diolah dan diinterpretasikan untuk menghasilkan informasi yang akurat dan berguna dalam pemantauan lalu lintas.

7. Implementasi

Setelah tahap perancangan selesai, sistem pemantauan lalu lintas berbasis radar akan diimplementasikan. Implementasi ini akan melibatkan pengembangan perangkat lunak untuk memproses data dari sensor radar, penerapan algoritma yang telah dirancang, dan pembangunan antarmuka pengguna untuk menampilkan informasi lalu lintas secara visual. Pemrograman akan dilakukan dengan mempertimbangkan efisiensi dan pemrosesan *real-time*, mengingat kebutuhan untuk memantau lalu lintas secara dinamis. Tahap implementasi ini akan menjadi

realisasi dari konsep yang telah dirancang dan akan menjadi dasar untuk pengujian serta validasi sistem di lingkungan nyata.

1.7. Proyeksi Pengguna

Pasar *Intelligent Transportation System* (ITS) di Indonesia diproyeksikan mengalami pertumbuhan yang signifikan, mencapai USD 1.534,3 juta pada tahun 2030 dengan tingkat pertumbuhan tahunan majemuk atau *compound annual growth rate* (CAGR) sebesar 10,2% dari tahun 2024 hingga 2030 [8]. Proyeksi ini secara langsung mencerminkan peningkatan jumlah pengguna dan perluasan pasar untuk solusi pemantauan lalu lintas berbasis radar. Pengguna utama sistem yang dirancang ini diperkirakan mencakup instansi pemerintah di bidang transportasi dan lalu lintas demi peningkatan efisiensi dan keamanan jaringan jalan, operator jalan tol dengan kebutuhan pemantauan lalu lintas akurat untuk optimalisasi operasional, serta pemerintah kota dalam upaya mengatasi masalah kemacetan perkotaan.

Seiring dengan meningkatnya fokus pemerintah pada pengembangan infrastruktur transportasi dan tantangan kemacetan yang semakin besar, adopsi teknologi radar diperkirakan akan semakin meluas. Kondisi ini menciptakan peluang pasar yang besar bagi penyedia solusi pemantauan lalu lintas berbasis radar, seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan data lalu lintas yang akurat dan real-time untuk pengambilan keputusan yang efektif dan pengelolaan lalu lintas yang lebih baik.