

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bersepeda telah menjadi salah satu aktivitas olahraga yang banyak dipilih oleh masyarakat. Selain dapat meningkatkan kesehatan, sepeda juga merupakan salah satu sarana transportasi yang ekonomis dan ramah lingkungan. Meskipun begitu, beberapa pihak menilai bahwa sepeda lebih rentan di jalanan dibandingkan dengan jenis kendaraan lainnya. Sebab, seiring dengan meningkatnya jumlah komunitas pesepeda di dunia, risiko kecelakaan pesepeda juga turut meningkat signifikan. [1] Berdasarkan data kecelakaan pesepeda di US, setiap tahunnya ada sekitar 1000 orang meninggal dan kurang lebih 120.000 kunjungan ke Unit Gawat Darurat akibat kecelakaan yang melibatkan kendaraan bermotor [2]. Di Indonesia sendiri, peningkatan kasus kecelakaan pesepeda masih berlanjut dalam beberapa tahun terakhir [3]. Mengambil contoh kasus kecelakaan di Jakarta pada tahun 2020, sebanyak 17 pesepeda dari 29 kasus yang terjadi berakibat meninggal dunia [4]. Hasil penelitian lain yang dilakukan di Jakarta menyebutkan bahwa perilaku agresif, kelalaian berkendara dan distraksi berhubungan dengan rendahnya persepsi risiko dan pemahaman aturan lalu lintas pada pesepeda [5]. Di sisi lain, hasil penelitian dari Yogyakarta turut menyatakan bahwa sebagian besar kecelakaan sepeda disebabkan oleh kesalahan pengendara sendiri, sementara pemahaman terhadap regulasi keselamatan di jalanan masih berada pada kategori sedang [3]. Temuan dari kedua daerah ini menunjukkan bahwa baik manusia dan lingkungan memiliki peranan penting dalam meningkatkan kerentanan pesepeda terhadap situasi berbahaya di jalan.

Salah satu faktor kecelakaan, yaitu tingkat distraksi (*cycling distraction*) seperti penggunaan gawai, lingkungan jalanan tidak memadai, dan kondisi cuaca yang tidak mendukung dapat meningkatkan probabilitas terjadinya *riding errors*. *Riding errors* adalah kumpulan perilaku berisiko yang tidak disengaja tetapi dapat membahayakan pesepeda maupun pengguna jalan lainnya. [5] Selain faktor internal seperti tingkat distraksi, persepsi risiko, dan pemahaman terhadap aturan lalu lintas, faktor fisik seperti postur tubuh juga menentukan keselamatan pesepeda. Penelitian Rubiono et al. sebagaimana dikutip dalam [6] menunjukkan bahwa postur tubuh yang tidak optimal dapat menurunkan efisiensi kecepatan pesepeda. Meskipun fokus penelitian tersebut terletak pada aspek aerodinamis dan kinerja, secara biomekanik postur tubuh juga berperan dalam menjaga keseimbangan dinamis

pesepeda. Dengan demikian, ketidaksesuaian postur tubuh pesepeda dapat meningkatkan risiko jatuh setelah kehilangan keseimbangan, terutama saat kondisi jalan atau cuaca tidak mendukung.

Tidak hanya faktor internal, faktor eksternal seperti kondisi lingkungan dan infrastruktur jalan juga mempengaruhi keselamatan pesepeda. Beberapa kondisi seperti cuaca ekstrem (suhu tinggi), ketidaksesuaian intensitas cahaya, dan tingkat kelembapan tertentu mempengaruhi kenyamanan dan keselamatan pesepeda di area perkotaan [7]. Kombinasi faktor internal dan eksternal ini membuat pesepeda rentan kehilangan keseimbangan atau kondisi lain yang dapat menyebabkan jatuh.

Salah satu solusi yang dapat digunakan untuk memonitor dinamika gerakan dan postur tubuh pesepeda adalah dengan memanfaatkan sensor inersia. Sensor inersia atau yang sering dikenal sebagai *Inertial Measurement Unit* (IMU) adalah jenis perangkat sensor yang umum digunakan dalam merekam pola dari arah, posisi dan pergerakan suatu objek [6]. Sensor inersia umumnya terdiri dari *accelerometer* dan *gyroscope* untuk menghasilkan data multivariat yaitu, variabel percepatan linier dan kecepatan sudut secara 3 dimensi secara *real-time* [8]. Sensor inersia umum digunakan dalam sistem pendeteksian jatuh [8] karena kemampuannya dalam membedakan aktivitas normal dan jatuh pada manusia, meskipun terkadang data sensor menghasilkan pola sinyal yang serupa dalam berbagai aktivitas [9]. Salah satu penelitian menunjukkan bahwa melalui penggabungan beberapa sensor inersia dapat melengkapi informasi gerakan yang meningkatkan akurasi dan keandalan sistem deteksi jatuh [10].

Data mentah yang dihasilkan sensor inersia membutuhkan metode analisis berbasis *machine learning* yang dapat mengidentifikasi pola yang berkaitan dengan risiko jatuh. Sebagai model *baseline*, *Logistic Regression* dapat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan fitur hasil ekstraksi dalam memisahkan kelas risiko jatuh secara linear [11]. Akan tetapi, data sensor umumnya memiliki karakteristik yang kompleks dengan hubungan antarfitur yang berpotensi bersifat non-linear sehingga membutuhkan algoritma yang lebih fleksibel dalam menangkap interaksi antar variabel [11]. Salah satu algoritma yang efektif dalam mendeteksi aktivitas jatuh adalah *Random Forest* yang dikenal memiliki kemampuan generalisasi yang baik serta mampu menghindari *overfitting* [9]. Selain itu, dengan mengekstraksi fitur yang relevan dan optimasi *hyperparameter* secara signifikan mampu meningkatkan kinerja model *Random Forest* dalam aspek akurasi, presisi, *recall* dan efisiensi komputasi [9].

Penelitian sistem deteksi jatuh berbasis sensor inersia telah banyak diterapkan dalam bidang kesehatan untuk menganalisis kestabilan dan mendeteksi jatuh manusia, terutama pada lansia [9-10,12]. Meskipun demikian, penelitian serupa untuk pesepeda masih relatif terbatas [13,14]. Mayoritas studi masih berfokus pada biomekanika tubuh [15-18], bukan pada risiko jatuh dari dinamika gerakan pesepeda secara *real-time*. Salah satu penelitian sebelumnya [6] memfokuskan penggunaan sensor inersia model MPU6050 untuk *training* aerodinamis dan terbukti akurat dalam mendeteksi dan mengukur kemiringan torso pesepeda, dengan akurasi pengujian sistem mencapai 87,5%. Meskipun demikian, penelitian tersebut belum mengeksplorasi potensi kapabilitas sensornya khususnya dalam konteks deteksi risiko jatuh. Kemampuan sensor dalam menganalisis postur tubuh menunjukkan bahwa sensor inersia dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi pola dinamika gerakan sepeda yang berkaitan dengan kehilangan keseimbangan pesepeda sebagai salah satu indikator risiko jatuh.

Dalam penelitian ini menggunakan *dataset* naturalistik yang terdiri atas beberapa sensor inersia berbasis *smartphone* dan diposisikan pada stang sepeda. Dari sisi implementasi, penempatan posisi sensor ini dinilai praktis karena bersifat *non-wearable* sehingga tidak membebani tubuh pesepeda, yang turut didukung oleh hasil positif penggunaan *smartphone* pada stang dalam menilai kualitas permukaan jalan. Namun, posisi sensor ini dapat meningkatkan paparan sinyal terhadap getaran mekanik dari interaksi ban dan permukaan jalan, yang akhirnya dapat mendistorsi karakteristik sinyal. [19] Selain itu, *dataset* yang digunakan belum memiliki label kejadian jatuh (*ground truth*) sehingga memerlukan penentuan fitur target. Untuk mengatasi hal ini, pelabelan dilakukan secara mandiri pada *data train* melalui pendekatan *statistical thresholding (sigma-based)* untuk mendeteksi anomali pada fitur *Resultant Acceleration* dan *Resultant Angular Velocity* yang menyimpang dari distribusi aktivitas normal. Secara teoritis, metode ini mengacu pada prinsip *K-sigma rule* yang umumnya menggunakan ambang batas 3σ yang mencakup 99,7% data distribusi normal [20]. Namun, dalam penelitian ini diimplementasikan ambang batas 2σ yang mencakup 95% data distribusi normal untuk menghasilkan model deteksi yang lebih sensitif terhadap kejadian ekstrem. Selain itu, data empiris menunjukkan bahwa puncak akselerasi jatuh pada pesepeda dapat berada pada rentang yang lebih rendah, yakni antara 2,8g hingga 3.6g [21]. Pendekatan yang digunakan secara konseptual selaras dengan penggunaan ambang statistik pada sinyal sensor inersial untuk mendeteksi kejadian kritis seperti yang dikembangkan oleh [22] melalui mekanisme *trigger* fisik.

Tantangan lain dalam penelitian deteksi jatuh umumnya ketidakseimbangan kelas yang merepresentasikan jumlah kejadian jatuh (anomali) lebih sedikit dibandingkan jumlah aktivitas normal. Ketidakseimbangan tersebut dapat mempengaruhi akurasi model dalam mendeteksi anomali gerakan yang diasosiasikan dengan risiko jatuh sehingga membutuhkan strategi *data balancing*. Oleh karena itu, teknik *Synthetic Minority Over-sampling Technique* (SMOTE) diterapkan untuk mengatasi masalah ini agar model *Random Forest* yang dibangun tidak bias terhadap kelas mayoritas [23]. Selain itu, proses ekstraksi fitur dan validasi silang juga berperan penting. Penelitian sebelumnya menggunakan teknik ini untuk memastikan kemampuan model dalam menggeneralisasi pada kondisi aktual [9].

Oleh karena itu, pendekatan sistematis diterapkan dalam memproses dan menganalisis data sensor inersia sebelum membangun model pendeteksian. Penelitian ini berupaya mengembangkan model pendeteksian risiko jatuh berbasis sensor inersia dengan menggunakan *Logistic Regression* sebagai model *baseline* dan *Random Forest* sebagai model utama untuk meningkatkan keselamatan pesepeda. Model ini diharapkan dapat meminimalisasi kesalahan deteksi (*false positives* dan *false negative*) [9] yang krusial dalam mengidentifikasi kondisi berisiko tinggi sebelum kecelakaan terjadi [1].

Kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan *dataset* sensor inersia untuk mengenali anomali gerakan yang diasosiasikan dengan risiko jatuh pesepeda melalui proses *feature extraction*, pelabelan *sigma-based*, penanganan ketidakseimbangan kelas menggunakan SMOTE dan evaluasi kinerja *Logistic Regression* dan *Random Forest*. Selain itu, optimasi model *Random Forest* dilakukan untuk meningkatkan kemampuan klasifikasi pola anomali tersebut berdasarkan dinamika gerakan sepeda. Hasil penelitian ini berpotensi menjadi landasan awal bagi pengembangan sistem pemantauan keselamatan pesepeda di masa mendatang. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi keilmuan untuk mengisi celah dalam literatur terkait analisis sensor inersia pada pesepeda, terutama pada skenario pemodelan tanpa tersedianya *ground truth* kejadian jatuh aktual.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana data dari sensor inersia dapat diolah secara sistematis untuk menghasilkan fitur yang relevan dalam pendeteksian anomali gerakan sebagai indikator risiko jatuh pesepeda?

2. Bagaimana kemampuan model *Logistic Regression* dibandingkan dengan model *Random Forest* dalam menangkap pola anomali (indikasi risiko jatuh) pada data sensor yang bersifat kompleks dan *non-linear*?
3. Bagaimana pengaruh teknik penyeimbangan data (SMOTE) terhadap kinerja model dalam mendeteksi kelas minoritas (indikasi risiko jatuh) pada *dataset* yang tidak seimbang?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Menganalisis dan mengolah data sensor inersia secara sistematis untuk mengekstraksi fitur yang relevan dalam mencerminkan karakteristik anomali gerakan yang mengindikasikan risiko jatuh pesepeda.
2. Membangun dan membandingkan model klasifikasi menggunakan algoritma *Random Forest* dan *Logistic Regression* untuk deteksi anomali gerakan terkait risiko jatuh.
3. Membandingkan hasil evaluasi kinerja serta mengidentifikasi perbedaan signifikan kedua kondisi dalam memprediksi kelas minoritas.

1.4 Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam berbagai aspek, seperti :

1. Memberikan kontribusi dalam pengembangan model *machine learning* untuk mendeteksi anomali gerakan sebagai indikasi risiko jatuh berbasis data sensor inersia yang diposisikan pada stang sepeda.
2. Berpotensi mendukung pengembangan sistem pemantauan keselamatan pesepeda dan dapat menjadi dasar pengembangan aplikasi nyata untuk diintegrasikan ke perangkat *wearable* atau aplikasi navigasi pintar.
3. Menunjukkan pengaruh penerapan *feature extraction* dan teknik *data balancing* terhadap kinerja model klasifikasi *Random Forest* berbasis data sensor inersia.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini ditetapkan sebagai berikut :

1. *Dataset* yang digunakan berasal dari data sensor inersia pada *smartphone* yang dipasang pada stang sepeda dan digunakan saat berkendara di jalanan beraspal dari website <https://data.mendeley.com/datasets/3j9yh8znj4/3>

2. Analisis data menggunakan bahasa pemrograman R dan dijalankan melalui aplikasi Rstudio.
3. Model klasifikasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah algoritma *Random Forest* dan *Logistic Regression* sebagai *baseline*.
4. Penelitian ini melibatkan implementasi teknik SMOTE untuk menyeimbangkan distribusi kelas, tanpa melibatkan teknik penyeimbangan data lainnya.
5. Pelabelan kelas target dilakukan menggunakan pendekatan *thresholding* karena *dataset* tidak memiliki anotasi kejadian jatuh aktual. Oleh karena itu, pengenalan pola dibatasi pada anomali gerakan yang diasosiasikan dengan risiko jatuh.
6. Penelitian ini hanya mencakup proses pengolahan data, ekstraksi fitur dan pengujian model komputasional secara *offline*, tanpa implementasi penuh dalam perangkat *wearable* atau aplikasi *real-time*.

