

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Sepeda motor merupakan alat transportasi yang dominan di Indonesia. Mengawali tahun 2026, Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AISI) merilis data realisasi penjualan domestik sepanjang tahun 2025 yang mencapai angka 6.412.769 unit, tumbuh 1,3% dibanding tahun sebelumnya. Dari volume pasar yang masif tersebut, segmen skuter matik (*automatic scooter*) mendominasi secara mutlak dengan kontribusi sebesar 91,7%. Angka ini jauh meninggalkan jenis motor bebek (*underbone*) yang hanya mencatatkan 4,46% dan tipe *sport* sebesar 3,51%, sementara adopsi sepeda motor listrik tercatat masih di bawah 1% [1]. Dominasi segmen ini dipertegas oleh data preferensi konsumen yang menunjukkan bahwa kategori skuter matik secara konsisten memimpin indeks pasar dengan angka penggunaan mencapai kisaran 29,8% hingga 35,6% untuk model-model terpopuler, jauh mengungguli kategori motor bebek yang cenderung mengalami stagnasi [2]. Statistik gabungan ini menegaskan bahwa skuter matik adalah moda transportasi utama yang paling krusial untuk diteliti kondisi kesehatannya dibandingkan jenis kendaraan lain.

Tingginya populasi skuter matik tersebut berbanding lurus dengan tingginya urgensi pemeliharaan sistem transmisi otomatis (CVT). Hal ini secara empiris divalidasi melalui studi pendahuluan dan wawancara operasional pada empat bengkel di wilayah Kota Bandung. Pada kategori bengkel umum, Bapak Kurnia selaku *Customer Service* di Ledeng Motor Bandung menyatakan bahwa terdapat rata-rata 15 unit per hari atau sekitar 50 unit motor matik per minggu yang secara spesifik melakukan perbaikan CVT. Intensitas tingginya beban servis harian ini juga dikonfirmasi oleh Bapak Memet, *Customer Service* Dian Jaya Motor, yang mencatat penerimaan hingga 30-35 unit kendaraan per hari dengan keluhan bervariasi dari servis CVT ringan hingga berat. Tingginya frekuensi kerusakan komponen CVT juga terjadi pada jaringan bengkel resmi. Berdasarkan pemaparan Bapak Jajang, Kepala Mekanik di Yamaha Surya Putra Motor, layanan perbaikan

CVT mencapai 20-30 unit per hari atau diestimasikan menembus 250 unit per bulan. Lebih lanjut, Bapak Riyansyah Dwiki Ramdhani selaku Kepala Bengkel di Dealer Resmi Honda Setia Abadi Mitra Motor menjelaskan bahwa penanganan CVT (rata-rata 12-18 unit per hari) mayoritas tidak dilakukan secara mandiri, melainkan terintegrasi dengan paket servis besar atau penggantian oli. Pernyataan dari para praktisi lapangan ini membuktikan bahwa komponen CVT menerima beban kerja yang sangat berat dan rentan mengalami degradasi operasional secara masif.

Tingginya volume kendaraan yang mengalami masalah transmisi tersebut menuntut layanan purna jual dan perbaikan yang cepat serta presisi. Namun, fakta di lapangan menunjukkan sebaliknya. Jian-Da Wu dkk. (2021) menyoroti bahwa proses diagnosis kerusakan di bengkel konvensional masih dilakukan secara manual dan subjektif. Sebagai penggerak utama, area *Continuously Variable Transmission* (CVT) menanggung beban gesekan yang konstan dari komponen seperti *roller*, *v-belt*, dan kampas ganda. Diagnosis "langkah demi langkah" dengan membongkar blok CVT dinilai tidak efisien karena memboroskan waktu. Di sisi lain, konsumen kesulitan memvalidasi apakah suara anomali dari area transmisi mengharuskan penggantian komponen secara menyeluruh atau sekadar keausan ringan. Ketidakefisienan ini berdampak fatal secara ekonomi. Laporan Forbes (2022) mencatat bahwa secara global, *unplanned downtime* (waktu henti tidak terencana) akibat keterlambatan diagnosis mekanis merugikan industri hingga \$50 miliar setiap tahunnya [3], [4].

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) menawarkan solusi melalui diagnosis berbasis sinyal akustik yang lebih objektif. Kerusakan pada komponen CVT dapat menghasilkan indikasi keausan komponen [5]. Efektivitas pendekatan ini telah terbukti secara signifikan di sektor industri otomotif skala besar. Fedorishin dkk. (2022) melalui penelitian pada platform lelang *ACV Auctions* membuktikan bahwa implementasi model deteksi anomali berbasis audio mampu menurunkan tingkat sengketa (*arbitration*) kendaraan hingga 20,85%. Fakta ini mengindikasikan bahwa sistem diagnosis otomatis tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga mampu menjadi alat validasi yang meningkatkan kepercayaan transaksi dan mencegah penipuan komponen [6].

Meskipun metode berbasis suara ini menjanjikan, akan tetapi penerapan secara spesifik pada komponen CVT skuter matik memiliki tantangan teknis yang berat. Area CVT yang tertutup rapat (*closed housing*) berada sangat dekat dengan blok ruang bakar, sehingga suara indikasi awal kerusakan komponen seperti decitan *v-belt* atau ketukan *roller* yang mulai aus sering kali tertutup oleh tingginya amplitudo kebisingan (*noise*) dari putaran mesin pembakaran dalam (*combustion engine*). Tingginya tingkat kebisingan latar ini menuntut metode komputasi yang tangguh, yang sering kali gagal ditangani oleh algoritma standar.[7].

Berbagai metode *Machine Learning* seperti *Artificial Neural Networks* (ANN) dan *Decision Trees* telah banyak diterapkan untuk mengatasi masalah diagnosis mekanis. Namun, Fernandes dkk. (2022) dalam tinjauan sistematisnya mengungkapkan kelemahan mendasar dari pendekatan-pendekatan tersebut. Ia menemukan bahwa mayoritas model *Machine Learning* hanya menunjukkan performa tinggi pada "eksperimen terkontrol" (data laboratorium), namun mengalami penurunan akurasi signifikan saat dihadapkan pada tantangan dunia nyata (*real-world scenarios*). Kegagalan ini sering kali disebabkan oleh fenomena *concept drift*, yaitu perubahan pola data akibat kondisi lingkungan yang dinamis yang sulit diadaptasi oleh model pembelajaran mesin konvensional [8].

Penelitian terbaru oleh Uzel dkk. (2025) mencoba mengatasi masalah ini menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) dengan input *Mel-Spectrogram*. Metode ini terbukti efektif menangkap pola visual frekuensi pada motor listrik. Namun, arsitektur CNN memiliki keterbatasan mendasar berupa jangkauan pandang lokal (*local receptive field*). Keterbatasan ini membuat CNN kurang optimal dalam menangkap hubungan ketergantungan jangka panjang (*long-range dependencies*) pada pola suara mesin bensin yang kompleks dan tertutup kebisingan [9].

Untuk mengatasi *noise* pada CVT dan keterbatasan metode sebelumnya, penelitian ini mengusulkan penggunaan metode Audio Spectrogram Transformer (AST). Gong dkk. (2021) membuktikan bahwa AST, yang berbasis murni pada mekanisme *Self-Attention*, mampu menangkap konteks global dari spektrogram audio dan mengungguli performa CNN (seperti ResNet) dalam berbagai tolok ukur klasifikasi audio [10]. Berdasarkan keunggulan tersebut, penelitian ini menerapkan

AST untuk mengklasifikasikan kerusakan pada area CVT sepeda motor matik, guna memberikan diagnosis yang akurat dan objektif bagi pengguna awam.

1.2 Perumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana menerapkan arsitektur Audio Spectrogram Transformer (AST) untuk melakukan ekstraksi fitur dan deteksi anomali pada area CVT sepeda motor matik ditengah tingginya karakteristik *noise* mesin utama?
2. Bagaimana efektivitas dan kinerja model AST dalam mengklasifikasi kondisi area CVT ke dalam tiga tingkat kategori kerusakan, yaitu Normal, Kerusakan Ringan, dan Kerusakan Berat?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Membangun dan Mengoptimalkan Model Ekstraksi Fitur Suara: Mengimplementasikan pendekatan Transfer Learning dengan melakukan fine-tuning pada arsitektur Audio Spectrogram Transformer (AST) agar mampu mengekstraksi dan mengenali pola (Mel-Spectrogram) spesifik dari suara anomali area CVT sepeda motor matik di tengah tingginya tingkat kebisingan latar (*noise*) khas mesin pembakaran.
2. Mengevaluasi Kinerja Klasifikasi Model: Mengukur secara komprehensif efektivitas dan tingkat akurasi model AST dalam memisahkan serta melokalisasi sumber kerusakan pada CVT motor matik menjadi tiga tingkat keparahan (Normal, Kerusakan Ringan, dan Kerusakan Parah). Evaluasi dilakukan menggunakan metrik standar Machine Learning, yaitu Accuracy, Precision, Recall, dan F1-Score.

1.4 Batasan Masalah Penelitian

Agar penelitian tetap fokus dan terarah, penulis menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek Penelitian : Sepeda motor jenis skuter matik (automatic scooter) dari pabrikan Honda dan Yamaha dengan kapasitas mesin 110cc hingga 160cc. Motor dipastikan dalam kondisi standar pabrik, tidak ada modifikasi pada area

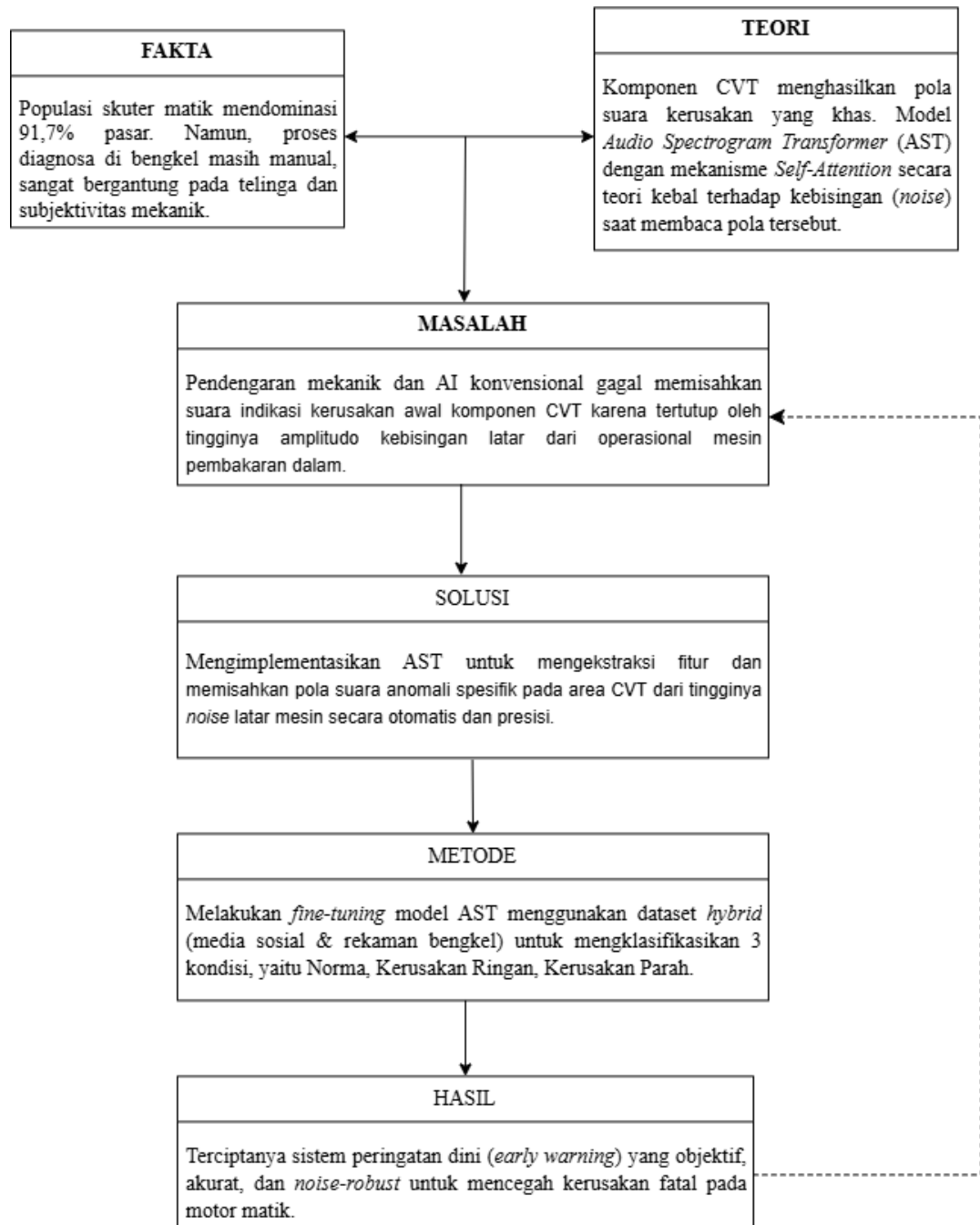
CVT maupun mesin utama serta knalpot atau sistem pembuangan yang dapat memanipulasi frekuensi suara.

2. Jenis Kerusakan : Sistem hanya mengklasifikasikan kondisi ke dalam 3 kelas utama:
 - a. Normal : komponen CVT beroperasi halus tanpa ada indikasi suara anomali.
 - b. Kerusakan Ringan : Terdeteksi indikasi awal keausan komponen, seperti suara berdecit halus pada komponen V-belt atau bunyi getaran ringan pada area komponen roller maupun bearing CVT.
 - c. Kerusakan Parah : Terdeteksi suara anomali yang kasar dan keras, seperti suara ketukan pada area gigi *ratio*. Yang menandakan kerusakan kritis pada komponen CVT.
3. Target pengumpulan *dataset* dibatasi pada rentang 600 hingga 1.500 sampel rekaman audio, dimana setiap sample merupakan potongan segmen audio berdurasi 3 detik. Dataset ini diperoleh melalui dua skenario :
 - a. Data Primer (20%) : Perekaman audio yang dilakukan dengan merekam suara dari bengkel yang sudah divalidasi kerusakan CVT oleh mekanik. Lalu, melakukan eksperimen pembongkaran blok CVT secara mandiri, guna memvalidasi kesesuaian antara sinyal suara yang direkam dengan kondisi fisik kerusakan komponen secara langsung.
 - b. Data Sekunder (80%) : Ekstraksi audio dari platform media sosial dengan kriteria seleksi akun yang ketat, yaitu berasal dari akun resmi/terverifikasi seperti akun pabrikan otomotif resmi, atau akun publik/komunitas otomotif yang memiliki tingkat kredibilitas tinggi yang dibuktikan melalui metrik keterlibatan pengguna, seperti jumlah pengikut atau *followers*, tayangan atau *views*, dan *likes* yang masif. Lalu, dalam video harus ada validasi kerusakan yang benar.
4. Teknis perekaman dilakukan saat mesin menyala stasioner (*idle*) maupun saat diberikan tarikan tuas gas ringan (akselerasi pada putaran RPM rendah).
 - a. Posisi kendaraan bervariasi, meliputi penggunaan standar tengah tanpa beban, maupun kondisi berbeban statis (dinaiki oleh pengendara tanpa

- melaju) guna memicu kemunculan suara gesekan anomali komponen CVT secara lebih jelas.
- b. Durasi pemakaian atau pemanasan mesin tidak dibatasi, karena karakteristik pada CVT berbeda dengan mesin dimana mesin akan mengalami perubahan frekuensi suara jika sudah digunakan dalam beberapa waktu, sedangkan untuk CVT bersifat konstan dan tidak dipengaruhi secara signifikan oleh suhu atau durasi pemakaian.
5. Lingkungan perekaman data primer dilakukan di lingkungan bengkel atau area terbuka dengan tetap mempertimbangkan karakteristik *noise* mesin pembakaran dalam sebagai tantangan utama proses ekstraksi fitur oleh model.



1.5 Kerangka Pemikiran Penelitian



Berdasarkan Gambar 1.1, kerangka pemikiran penelitian ini diawali dari kondisi faktual di mana skuter matik mendominasi 91,7% pasar kendaraan roda dua di Indonesia. Tingginya populasi ini menuntut efisiensi layanan pemeliharaan. Namun, realita di lapangan menunjukkan bahwa bengkel konvensional masih

menerapkan prosedur diagnosis manual, yaitu dengan cara langkah demi langkah yang bergantung sepenuhnya pada pendengaran subjektif mekanik.

Secara teoritis, pemantauan kesehatan mesin maupun transmisi yang ideal didasarkan pada prinsip bahwa setiap komponen mekanis menghasilkan sinyal akustik (Mel-Spectrogram) dengan pola frekuensi yang unik. Kesenjangan teknis (masalah) terjadi karena telinga manusia maupun metode AI konvensional gagal memisahkan sinyal suara kerusakan dini tersebut, khususnya pada area CVT dari tingginya tingkat kebisingan latar (noise) khas mesin pembakaran. Akibatnya, kerusakan komponen sering kali baru disadari oleh mekanik maupun pemilik saat sudah mencapai tahap yang fatal dan membutuhkan perbaikan mahal.

Sebagai pendekatan alternatif, penelitian ini mengusulkan implementasi arsitektur Audio Spectrogram Transformer (AST). Integrasi teknologi ini memungkinkan sistem melakukan ekstraksi fitur secara otomatis dengan menangkap hubungan ketergantungan jangka panjang (long-range dependencies) melalui mekanisme self-attention. Kemampuan ini dievaluasi guna memastikan efektivitas pemisahan pola kerusakan area CVT dari tingginya noise mesin pembakaran.

Proses pelatihan model menerapkan pendekatan Transfer Learning dengan melakukan fine-tuning pada model pra-terlatih AST. Untuk merepresentasikan kondisi nyata, dataset yang digunakan adalah kombinasi data sekunder (ekstraksi audio media sosial) sebanyak minimal 80% dan data primer (perekaman langsung di bengkel) sebanyak maksimal 20%, dengan total dataset 600 hingga 1.500 data sampel yang berisi hasil potongan-potongan rekaman kerusakan atau anomali pada CVT. Melalui metode ini, diharapkan implementasi AST dapat menghasilkan sistem diagnosis peringatan dini (early warning) yang memiliki akurasi tinggi dan stabil terhadap kebisingan (noise-robust) pada 3 kategori (Normal, Kerusakan Ringan, dan Kerusakan Parah), sehingga dapat memitigasi risiko kerusakan fatal secara otomatis.

1.6 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan kerangka kerja *Cross-Industry Standard Process for Data Mining* (CRISP-DM) sebagai pendekatan metodologis utama. Pemilihan metode ini didasarkan pada karakteristik CRISP-DM yang menyediakan model

proses standar secara terstruktur, serta dirancang agar tidak bergantung pada sektor industri maupun teknologi tertentu [11]. Selain itu, CRISP-DM diakui sebagai model yang mendominasi di pasaran dan sangat adaptif untuk mengelola siklus hidup proyek *data science* [12].

Merujuk pada kerangka kerja tersebut, alur penyelesaian masalah dieksekusi melalui enam tahapan iteratif. Siklus tahapan ini tidak bersifat sekuensial ketat, melainkan memungkinkan peneliti untuk bergerak maju atau kembali ke tahap sebelumnya bergantung pada hasil evaluasi yang diperoleh [11]. Keenam tahapan utama tersebut secara berurutan meliputi *Business Understanding*, *Data Understanding*, *Data Preparation*, *Modeling*, *Evaluation*, dan *Deployment* [11]. Penjabaran teknis dan langkah operasional mengenai eksekusi masing-masing fase ini akan diuraikan secara lebih komprehensif pada Bab III.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan memuat sistematika penulisan laporan tugas akhir dengan memberikan gambaran kandungan setiap bab, urutan penulisan, serta keterkaitan antara satu bab dengan bab lainnya dalam sebuah laporan tugas akhir. Berikut sistematika penulisan laporan tugas akhir.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pengantar yang menguraikan fondasi penelitian, meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, kerangka berpikir, serta sistematika penulisan.

BAB II KAJIAN LITERATUR

Bab ini memaparkan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian terdahulu yang relevan, serta landasan teori, konsep dasar, dan pemodelan matematis yang menjadi pijakan dalam proses analisis permasalahan dan perancangan sistem.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai alur, langkah-langkah kerja, dan teknik yang diterapkan dalam penelitian. Bagian ini menguraikan secara sistematis dan terstruktur mengenai proses pengumpulan data, prapemrosesan (*preprocessing*), hingga skenario pelatihan model.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan dua hal utama: pertama, penjabaran temuan atau hasil pengujian sistem berdasarkan skenario yang telah dirancang. Kedua, pembahasan dan analisis mendalam mengenai performa model sebagai jawaban atas rumusan masalah yang diajukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berfokus pada penarikan kesimpulan dari hasil evaluasi penelitian untuk menjawab tujuan penelitian. Selain itu, bab ini juga memuat saran-saran teknis dan strategis untuk pengembangan penelitian selanjutnya agar kualitas pendeteksian dapat ditingkatkan di masa mendatang.

