

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi otomotif di Indonesia dalam satu dekade terakhir ditandai dengan transisi masif dari sistem karburator ke sistem injeksi bahan bakar elektronik (*Electronic Fuel Injection/EFI*). Pada sepeda motor Honda, teknologi ini dikenal dengan sebutan PGM-FI (*Programmed Fuel Injection*) yang dikendalikan oleh *Electronic Control Unit* (ECU). Sistem injeksi menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan karburator, meliputi efisiensi bahan bakar yang lebih baik, emisi gas buang yang lebih rendah sesuai regulasi emisi yang semakin ketat, serta performa mesin yang lebih optimal pada berbagai kondisi operasi. Seiring dengan peningkatan populasi sepeda motor injeksi, kebutuhan akan layanan purna jual yang canggih dan komprehensif juga meningkat secara signifikan.

Perkembangan teknologi *monitoring* berbasis mikrokontroler telah membuka peluang baru dalam pengembangan sistem akuisisi data untuk berbagai aplikasi. (Prayitno et al., 2021) dalam penelitiannya di Institut Teknologi PLN berhasil mengembangkan sistem *monitoring* dan *controlling* konsumsi daya listrik menggunakan mikrokontroler NodeMCU yang terintegrasi dengan sensor PZEM004T. Sistem tersebut mampu mengakuisisi data tegangan, arus, dan daya secara *real-time* untuk kemudian ditransmisikan ke *database* dan ditampilkan pada aplikasi *mobile*. Metodologi akuisisi data sensor, pemrograman mikrokontroler, penyimpanan data, dan antarmuka aplikasi yang diterapkan dalam penelitian tersebut memiliki kemiripan konseptual dengan pengembangan alat diagnostik ECU yang membaca parameter sensor mesin (RPM, *throttle position*, suhu) secara *real-time* dan menampilkannya pada antarmuka pengguna.

Selain itu, penelitian tentang sistem kendali berbasis mikrokontroler juga telah dilakukan untuk aplikasi pengendalian kecepatan motor. (Ardiansyah et al., 2020) dalam penelitiannya di Institut Teknologi PLN berhasil mengimplementasikan *fuzzy logic*

controller untuk mengendalikan kecepatan motor DC dengan metode inferensi Mamdani. Pendekatan algoritma kendali berbasis logika fuzzy tersebut memberikan inspirasi dalam pengembangan sistem kendali ECU yang memerlukan pengambilan keputusan berbasis kondisi operasional mesin.

Dalam konteks yang lebih luas, penelitian di Institut Teknologi PLN juga mencakup pengembangan sistem monitoring dan kendali berbasis *Internet of Things* (IoT). (Ningrum et al., 2020) mengembangkan sistem SCADA untuk pemantauan dan pengendalian gardu distribusi dengan metode inferensi logika *fuzzy* Mamdani. Arsitektur sistem tersebut yang mengintegrasikan fungsi *telemetering*, *telecontrolling*, dan akuisisi data memberikan referensi konseptual untuk pengembangan sistem monitoring ECU yang memerlukan pemantauan parameter secara *real-time*.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk sistem monitoring juga telah diterapkan di berbagai domain aplikasi. (Sitorus et al., 2021) mengembangkan prototipe sistem monitoring berbasis komunikasi LoRa (*Long Range*) dengan jangkauan transmisi yang luas dan konsumsi daya rendah. Meskipun diterapkan untuk aplikasi *smart farming*, arsitektur komunikasi jarak jauh tersebut memberikan perspektif alternatif untuk pengembangan sistem diagnostik kendaraan berbasis *wireless* pada penelitian masa depan.

Kompleksitas sistem injeksi elektronik menuntut pendekatan perawatan dan diagnosis yang berbeda dari sistem karburator konvensional. Untuk melakukan diagnosis dan pemeliharaan ECU, pabrikan Honda menyediakan alat diagnostik resmi yang dikenal sebagai HIDS (*Honda Intelligent Diagnostic System*) atau dikenal juga dengan sebutan HDS (*Honda Diagnostic System*). Alat ini memiliki kemampuan untuk membaca parameter sensor secara *real-time*, mengidentifikasi kode kesalahan (*Diagnostic Trouble Code/DTC*), serta melakukan berbagai fungsi diagnostik lanjutan. Namun demikian, alat diagnostik resmi ini memiliki harga yang sangat tinggi dan distribusinya terbatas hanya untuk jaringan bengkel resmi AHASS (*Astra Honda Authorized Service Station*), sehingga tidak terjangkau bagi bengkel independen dan pelaku usaha kecil menengah di sektor otomotif.

Keterbatasan akses terhadap alat diagnostik resmi menyebabkan bengkel umum dan UMKM sektor otomotif menghadapi kesulitan dalam melakukan perawatan dan diagnosis tingkat lanjut pada sepeda motor injeksi. (Mindarta et al., 2022) dalam penelitiannya tentang penerapan *diagnostic tool* motor injeksi di bengkel Indonesia menyoroti kebutuhan mendesak akan alat diagnostik alternatif yang terjangkau namun memiliki fungsionalitas memadai untuk mendukung operasional bengkel independen. Tanpa alat yang tepat, mekanik hanya mampu melakukan diagnosis terbatas berdasarkan gejala fisik atau kode kedip MIL (*Malfunction Indicator Lamp*), yang seringkali tidak cukup untuk mengidentifikasi masalah kompleks pada sistem injeksi modern.

Selain fungsi diagnostik standar, terdapat permintaan yang semakin tinggi dari konsumen untuk optimasi performa mesin melalui modifikasi parameter ECU, yang dikenal dengan istilah *ECU remapping* atau *ECU tuning*. (Fatra et al., 2023) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa proses *remapping* ECU pada sepeda motor Honda CB150R dapat menghasilkan peningkatan torsi hingga 29% dan daya hingga 40% pada putaran tertentu. Potensi peningkatan performa ini membuka peluang pasar yang besar bagi bengkel yang mampu menyediakan layanan *tuning*. Namun, kemampuan untuk melakukan *remapping* memerlukan alat yang tidak hanya dapat membaca, tetapi juga menulis ulang data ke memori ECU fitur yang tidak tersedia pada sebagian besar alat diagnostik *aftermarket* yang ada di pasaran dengan harga terjangkau.

Dari perspektif teknis, pengembangan alat diagnostik pihak ketiga (*aftermarket*) menghadapi tantangan fundamental terkait stabilitas komunikasi dengan ECU. Protokol komunikasi yang digunakan pada ECU sepeda motor Honda adalah K-Line sesuai standar ISO 9141-2 dan KWP2000 sesuai standar ISO 14230-4. Kedua standar ini mensyaratkan prosedur inisialisasi yang sangat ketat dengan toleransi *timing* yang sempit, khususnya pada prosedur *5-baud initialization* yang menjadi dasar pembentukan koneksi antara alat diagnostik dengan ECU.

Sebagian besar alat diagnostik *aftermarket* yang tersedia di pasaran menggunakan metode koneksi *Virtual COM Port* (VCP) yang memanfaatkan *driver* serial standar sistem operasi Windows. Pendekatan ini memiliki kelemahan signifikan berupa latensi (*latency*)

yang tinggi dan tidak deterministik pada pengaturan *timing* komunikasi. Latensi ini diakibatkan oleh lapisan-lapisan abstraksi dalam *driver stack* Windows yang tidak dirancang untuk aplikasi komunikasi serial dengan persyaratan *timing* presisi tinggi. Dampak praktisnya adalah seringnya terjadi kegagalan koneksi (*lost connection*) atau kesalahan pembacaan data saat menangani protokol K-Line Honda yang membutuhkan kecepatan transmisi spesifik 10.400 bps dengan toleransi yang sangat ketat.

Perangkat diagnostik yang beredar di pasaran Indonesia saat ini didominasi oleh *scanner* berbasis cip ELM327 yang dikemas dalam bentuk dongle nirkabel *Bluetooth* maupun *Wi-Fi*, serta adaptor kabel serial yang terhubung ke komputer melalui port USB. Perangkat-perangkat tersebut pada umumnya memanfaatkan protokol *Virtual COM Port* (VCP) sebagai jembatan komunikasi antara *Electronic Control Unit* dan aplikasi diagnostik yang berjalan di atas sistem operasi *Windows* atau *Android*. Mekanisme VCP bekerja dengan cara mengemulasikan port serial tradisional sehingga perangkat lunak dapat mengakses data seolah-olah terhubung langsung melalui antarmuka RS-232 konvensional. Untuk keperluan pembacaan parameter operasional dasar seperti putaran mesin, suhu cairan pendingin, posisi katup gas, serta penghapusan *Diagnostic Trouble Code*, pendekatan berbasis VCP ini umumnya memadai dan telah banyak dimanfaatkan oleh bengkel-bengkel independen maupun pelaku usaha mikro di sektor otomotif roda dua.

Meskipun demikian, arsitektur VCP menyimpan kelemahan fundamental yang kerap luput dari perhatian pengguna awam. Setiap paket data yang dikirimkan maupun diterima melalui antarmuka VCP harus melewati serangkaian lapisan abstraksi pada *kernel* sistem operasi sebelum sampai ke aplikasi pengguna. Proses penjadwalan antrean (*buffering*) dan pemrosesan interupsi (*interrupt handling*) pada lapisan *driver* tersebut menimbulkan penundaan waktu atau *latency* yang bervariasi antara beberapa milidetik hingga puluhan milidetik, bergantung pada beban kerja prosesor dan prioritas *thread* yang sedang berjalan. Ketidakpastian waktu respons ini menjadi problematik ketika protokol komunikasi K-Line sesuai standar ISO 9141-2 mensyaratkan presisi waktu dalam orde mikrodetik untuk setiap transisi sinyal dan konfirmasi penerimaan data. Alat diagnostik resmi pabrikan Honda, yakni *Honda Intelligent Diagnostic System* (HIDS), memang

mampu mengatasi keterbatasan tersebut, namun harga perangkat yang sangat tinggi serta distribusinya yang terbatas hanya untuk bengkel resmi *Astra Honda Motor* menyebabkan aksesibilitasnya di luar jangkauan bengkel independen.

Ketidaksesuaian karakteristik *timing* antara VCP dan protokol K-Line tersebut membawa konsekuensi yang sangat serius apabila perangkat diagnostik digunakan untuk operasi yang lebih kritis dari sekadar pembacaan data. Proses penulisan ulang memori *flash* ECU atau yang lazim disebut *remapping* menuntut kestabilan transmisi data secara berkesinambungan selama puluhan detik hingga beberapa menit tanpa satu pun paket yang gagal atau terlambat melampaui batas waktu (*time-out*) yang ditetapkan oleh mikrokontroler ECU. Kegagalan transmisi di tengah proses penulisan dapat mengakibatkan kerusakan permanen pada sektor memori yang sedang diprogram, suatu kondisi yang dalam terminologi teknis dikenal sebagai *bricking*, di mana ECU kehilangan kemampuan untuk melakukan inisialisasi dan sepeda motor tidak dapat dihidupkan sama sekali. Risiko kerusakan fatal inilah yang mendasari urgensi pengembangan antarmuka komunikasi alternatif dalam penelitian ini, yakni melalui implementasi metode *Direct Driver Access* menggunakan pustaka FTD2XX_NET yang memungkinkan aplikasi mengakses perangkat keras konverter USB-to-serial FTDI secara langsung tanpa melalui lapisan emulasi VCP, sehingga latensi komunikasi dapat ditekan hingga ke orde mikrodetik dan persyaratan *timing* protokol K-Line dapat dipenuhi secara konsisten.

Untuk mengatasi kendala teknis tersebut, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem diagnostik dan *remapping* ECU berbasis metode *Direct Driver Access*. Metode ini memanfaatkan pustaka D2XX yang dikembangkan oleh FTDI (*Future Technology Devices International*) sebagaimana didokumentasikan dalam D2XX Programmer's Guide (FTDI Chip, 2023). Berbeda dengan pendekatan VCP konvensional, *Direct Driver Access* memotong jalur *driver* standar Windows dan mengakses langsung *chipset* FTDI FT232RL melalui *wrapper* pustaka FTD2XX_NET.dll untuk lingkungan pengembangan .NET.

Pendekatan *Direct Driver Access* menyediakan kontrol langsung terhadap parameter komunikasi serial pada level perangkat keras, termasuk pengaturan *baud rate*

non-standar (10.400 bps), konfigurasi *Latency Timer*, dan manajemen *buffer* transmisi/penerimaan. Dengan eliminasi lapisan abstraksi yang tidak perlu, diharapkan komunikasi data menjadi lebih stabil dan deterministik, memenuhi persyaratan *timing* ketat protokol ISO 9141-2 dan ISO 14230-4. Solusi ini diwujudkan dalam bentuk modul antarmuka perangkat keras berbasis *chipset* FTDI FT232RL dengan rangkaian *level shifter optocoupler*, serta dua aplikasi perangkat lunak mandiri: SCANNER BY FRENGKI untuk fungsi diagnostik dan FLASHER BY FRENGKI untuk fungsi *remapping*.

Sistem yang dikembangkan tidak hanya ditujukan untuk fungsi diagnostik dasar seperti pembacaan kode kesalahan (DTC) dan pemantauan parameter sensor, tetapi juga memiliki kemampuan untuk memodifikasi peta memori ECU (*remapping*). Kemampuan *remapping* ini meliputi modifikasi peta bahan bakar (*Fuel Map*), peta pengapian (*Ignition Map*), dan parameter pembatas putaran mesin (*Rev Limiter*). (Pratama et al., 2024) dalam penelitiannya tentang analisis performa sepeda motor injeksi 110cc menggunakan ECU *remap* menunjukkan bahwa modifikasi parameter ECU dapat menghasilkan peningkatan daya dan torsi yang terukur melalui pengujian *dynamometer*.

Untuk memvalidasi efektivitas sistem yang dikembangkan, penelitian ini akan melakukan pengujian pada tiga objek studi kasus: Honda BeAT FI CBS K25 dengan ECU Keihin (38770-K25-901), Honda Vario 125 dengan ECU Shindengen (30400-K60R-B61), dan Vario 150 dengan ECU Shindengen (30400-K59F-A01). Pemilihan ketiga tipe ECU dari manufaktur berbeda bertujuan untuk membuktikan universalitas dan fleksibilitas sistem dalam menangani berbagai varian ECU sepeda motor Honda. Validasi peningkatan performa akan dilakukan melalui pengujian *dynamometer (dynotest)* dengan mengukur parameter daya dan torsi sebelum serta sesudah proses *remapping*, sebagaimana metodologi yang telah diterapkan oleh (Damayanti & Septiyanto, 2024) dalam penelitian performa sepeda motor Honda Verza.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi berupa solusi teknologi diagnostik dan *remapping* ECU yang terjangkau, reliabel, dan dapat direplikasi oleh bengkel independen serta pelaku UMKM sektor otomotif di Indonesia.

Keberhasilan penelitian ini akan membuka akses terhadap teknologi yang selama ini terbatas pada bengkel resmi, sehingga dapat meningkatkan kapabilitas layanan dan daya saing bengkel-bengkel independen dalam menghadapi perkembangan teknologi otomotif modern.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, terdapat beberapa permasalahan fundamental yang perlu dipecahkan dalam pengembangan sistem diagnostik dan *remapping* ECU sepeda motor Honda. Permasalahan tersebut mencakup aspek teknis komunikasi protokol K-Line yang membutuhkan presisi *timing* tinggi, aspek keamanan data dalam proses penulisan memori ECU, serta aspek validasi efektivitas hasil modifikasi. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun perangkat keras antarmuka serta perangkat lunak diagnostik (SCANNER) dan *flasher* (FLASHER) ECU sepeda motor Honda yang mampu berkomunikasi secara stabil menggunakan metode *Direct Driver Access* pada protokol K-Line sesuai standar ISO 9141-2 dengan kecepatan transmisi data spesifik 10.400 bps, yang tidak dapat dicapai secara reliabel oleh pendekatan *Virtual COM Port* konvensional akibat keterbatasan *latency* sistem operasi Windows?
2. Bagaimana mengimplementasikan algoritma validasi integritas data (*checksum*) dan mekanisme autentikasi keamanan (*Seed-Key Authentication*) pada aplikasi *flasher* untuk mencegah kegagalan sistem (*system failure*) atau kerusakan permanen (*bricking*) pada ECU selama proses penulisan ulang memori (*remapping*), sekaligus menjamin kompatibilitas dengan berbagai tipe ECU Honda (Keihin dan Shindengen)?
3. Seberapa besar dampak penerapan hasil *remapping* peta bahan bakar (*Fuel Map*) dan peta pengapian (*Ignition Map*) menggunakan alat yang dikembangkan terhadap peningkatan parameter unjuk kerja mesin, meliputi daya (*Power*) dan torsi (*Torque*), pada sepeda motor Honda BeAT FI CBS K25 (38770-K25-901), Honda Vario 125 (30400-K60R-B61), dan Honda Vario

150 (30400-K59F-A01), sebagaimana dibuktikan melalui pengujian *Chassis Dynamometer*?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membangun perangkat keras antarmuka berbasis *chipset* FTDI FT232RL serta perangkat lunak diagnostik (SCANNER BY FRENGKI) dan *flasher* (FLASHER BY FRENGKI) yang mampu melakukan komunikasi data dua arah secara stabil pada protokol K-Line sesuai standar ISO 9141-2 dengan kecepatan transmisi 10.400 bps. Sistem ini memanfaatkan metode *Direct Driver Access* melalui pustaka *FTD2XX_NET.dll* untuk meminimalisir *latency* komunikasi serial yang menjadi kendala pada pendekatan *Virtual COM Port* konvensional.
2. Mengimplementasikan algoritma validasi integritas data (*checksum*) dan mekanisme autentikasi keamanan (*Seed-Key Authentication*) pada aplikasi *flasher* guna memverifikasi struktur dan kebenaran file binari sebelum proses penulisan ke memori ECU. Implementasi ini bertujuan mencegah risiko kegagalan sistem (*system failure*) atau kerusakan permanen perangkat keras (*bricking*) yang dapat terjadi akibat penulisan data yang tidak valid atau korup.
3. Membuktikan efektivitas proses *remapping* ECU menggunakan sistem yang dikembangkan terhadap peningkatan parameter unjuk kerja mesin, meliputi daya (*Power*) dan torsi (*Torque*), pada tiga objek studi kasus: Honda BeAT FI CBS K25 dengan ECU Keihin (38770-K25-901), Honda Vario 125 dengan ECU Shindengen (30400-K60R-B61), dan Honda Vario 150 dengan ECU Shindengen (30400-K59F-A01). Pembuktian dilakukan melalui pengujian empiris menggunakan *Chassis Dynamometer* dengan membandingkan data performa sebelum dan sesudah proses *remapping*.

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik dari aspek teoretis maupun praktis. Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1.4.1 Manfaat Teoritis

Memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang sistem *embedded* otomotif, khususnya dalam penerapan metode *Direct Driver Access* untuk mengatasi permasalahan latensi pada komunikasi serial protokol K-Line sesuai standar ISO 9141-2.

1. Menjadi referensi akademis bagi peneliti selanjutnya mengenai struktur memori dan organisasi data pada ECU sepeda motor Honda tipe Keihin dan Shindengen, termasuk implementasi algoritma validasi integritas data (*checksum*) yang aman untuk proses penulisan memori.
2. Mendokumentasikan metodologi pengujian performa mesin menggunakan *Chassis Dynamometer* sebagai teknik validasi kuantitatif untuk menilai efektivitas modifikasi parameter *Electronic Control Unit* (ECU) pada kendaraan roda dua.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Menyediakan alternatif alat diagnostik dan *tuning* ECU yang terjangkau (*cost-effective*) bagi bengkel independen dan pelaku UMKM sektor otomotif, sehingga mengurangi ketergantungan pada alat diagnostik resmi pabrikan (HIDS) yang memiliki harga tinggi dan distribusi terbatas.
2. Meningkatkan kapabilitas layanan bengkel dalam menawarkan jasa *ECU remapping* dan diagnosis lanjutan, yang berpotensi meningkatkan daya saing dan nilai tambah bisnis bengkel dalam menghadapi perkembangan teknologi otomotif modern.
3. Memberikan manfaat langsung bagi pemilik kendaraan dalam mengoptimalkan performa mesin dan efisiensi bahan bakar melalui kalibrasi

parameter ECU yang presisi sesuai dengan kondisi aktual mesin dan preferensi penggunaan kendaraan.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Untuk memastikan penelitian tetap fokus dan dapat diselesaikan dalam batasan waktu serta sumber daya yang tersedia, maka ditetapkan ruang lingkup masalah sebagai berikut:

1. Batasan Objek Penelitian

Penelitian ini hanya dilakukan pada ECU sepeda motor Honda yang menggunakan protokol komunikasi K-Line (satu jalur data) sesuai standar ISO 9141-2 dan ISO 14230-4. Protokol *CAN Bus* (*Controller Area Network*) yang digunakan pada sepeda motor Honda generasi terbaru tidak termasuk dalam cakupan penelitian ini.

2. Batasan Unit Uji

Pengujian validasi performa melalui *Chassis Dynamometer* dibatasi pada tiga unit sepeda motor sebagai sampel studi kasus, yaitu: Honda BeAT FI CBS K25 (tahun produksi 2012–2014) dengan ECU Keihin berkode 38770-K25-901, Honda Vario 125 dengan ECU Shindengen berkode 30400-K60R-B61, dan Honda Vario 150 dengan ECU Shindengen berkode 30400-K59F-A01.

3. Batasan Perangkat Lunak

Aplikasi FLASHER BY FRENGKI dan SCANNER BY FRENGKI dikembangkan untuk sistem operasi Windows menggunakan bahasa pemrograman C# dengan *framework* .NET dan pustaka *FTD2XX_NET.dll*. Penelitian ini tidak mencakup pengembangan aplikasi untuk platform *mobile* (*Android/iOS*) maupun sistem operasi selain Windows.

4. Batasan Lingkup Modifikasi

Proses *remapping* difokuskan pada manipulasi data tabel kalibrasi (*Maps*) yang meliputi peta bahan bakar (*Fuel Map*), peta pengapian (*Ignition Map*), dan parameter pembatas putaran mesin (*Rev Limiter*). Modifikasi dilakukan

pada mode operasi *Open Loop* ECU. Penelitian ini tidak mencakup penulisan ulang algoritma dasar (*base engine code*) atau *firmware* sistem operasi ECU.

5. Batasan Alat Ukur dan Variabel Penelitian

Pengukuran performa mesin dilakukan menggunakan *Chassis Dynamometer* tipe inersia (Super Dyno 50LE) dengan variabel terukur meliputi daya (*Power* dalam satuan *Horsepower*) dan torsi (*Torque* dalam satuan Newton-meter). Pengukuran emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar tidak menjadi variabel utama dalam penelitian ini.

1.6 Kebaruan Penelitian

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penerapan metode *Direct Driver Access* melalui pustaka FTD2XX_NET.dll sebagai solusi fundamental terhadap permasalahan latensi komunikasi serial yang selama ini menjadi kendala utama pada pengembangan alat diagnostik dan *flasher* ECU pihak ketiga. Pendekatan *Virtual COM Port* (VCP) yang diadopsi oleh mayoritas perangkat diagnostik *aftermarket* memanfaatkan *driver stack* standar sistem operasi Windows yang mengakibatkan latensi komunikasi berkisar 10–16 milidetik per transaksi akibat mekanisme *buffering* dan *task scheduling* yang tidak deterministik. Latensi serupa bahkan lebih tinggi (400–600 milidetik) ditemukan pada pendekatan nirkabel berbasis *Bluetooth* atau adaptor OBD-II generik. Kondisi latensi yang tidak terkendali ini menyebabkan kegagalan pada prosedur *Fast Initialization* protokol K-Line yang mensyaratkan presisi temporal TIniL dan TWup sebesar 25 ± 1 milidetik sesuai standar ISO 14230-4, serta berpotensi menyebabkan korupsi data atau kerusakan permanen (*bricking*) pada ECU selama proses penulisan memori.

Metode *Direct Driver Access* yang diimplementasikan dalam penelitian ini mem-*bypass* seluruh lapisan abstraksi VCP dengan mengakses *chipset* FTDI FT232RL secara langsung melalui *bulk transfer* USB. Pendekatan ini memungkinkan konfigurasi *Latency Timer* hingga nilai minimum 1 milidetik, pengaturan *baud rate* non-standar 10.400 bps secara presisi, serta kontrol penuh terhadap *buffer* transmisi dan penerimaan data. Melalui fungsi-fungsi *Application Programming Interface* (API) D2XX seperti FT_Open(), FT_Write(), FT_Read(), FT_SetBaudRate(), dan FT_SetLatencyTimer(), latensi

komunikasi berhasil ditekan hingga kurang dari 2 milidetik per transaksi nilai yang memenuhi persyaratan temporal protokol K-Line sesuai standar ISO 9141-2 dan ISO 14230-4.

Berbeda dengan penelitian-penelitian terdahulu yang mengembangkan sistem diagnostik dengan fungsi terbatas pada mode *read-only* atau bergantung pada *software* komersial tanpa kendali terhadap protokol komunikasi, penelitian ini membangun sistem diagnostik dan *flasher* secara mandiri (*custom-built*) dengan kendali penuh terhadap seluruh aspek komunikasi dan keamanan data. Sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu melakukan pembacaan parameter sensor dan kode kesalahan (*Diagnostic Trouble Code/DTC*), melainkan juga memiliki kapabilitas penulisan ulang memori ECU (*remapping*) yang dilengkapi dengan implementasi algoritma validasi integritas data (*checksum*) dan mekanisme autentikasi keamanan *Seed-Key Authentication* untuk menjamin keamanan proses transfer data ke memori *Flash* ECU.

Kebaruan lain yang membedakan penelitian ini dari studi sebelumnya adalah cakupan validasi yang komprehensif pada dua tipe ECU dengan arsitektur berbeda, yaitu Keihin (Honda BeAT FI CBS K25) dan Shindengen (Honda Vario 125 serta Honda Vario 150). Keberhasilan sistem dalam menangani kedua tipe ECU membuktikan *scalability* dan fleksibilitas arsitektur *software* yang dikembangkan dalam mengakomodasi variasi organisasi memori, ukuran *Flash* (48 KB hingga 384 KB), dan algoritma *checksum* yang berbeda antarpabrikan ECU. Validasi efektivitas hasil *remapping* dilakukan melalui pengujian kuantitatif menggunakan *Chassis Dynamometer Super Dyno 50LE*, yang memberikan bukti empiris peningkatan performa mesin secara terukur suatu pendekatan validasi yang jarang diterapkan secara sistematis pada penelitian-penelitian sejenis di Indonesia.

1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pemahaman dan memberikan gambaran menyeluruh mengenai isi penelitian, penulisan skripsi ini disusun dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang masalah yang mendasari dilakukannya penelitian, rumusan masalah yang akan dijawab, tujuan yang ingin dicapai, manfaat penelitian baik secara teoretis maupun praktis, ruang lingkup masalah yang membatasi cakupan penelitian, serta sistematika penulisan yang menggambarkan struktur keseluruhan skripsi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menyajikan tinjauan pustaka dan landasan teori yang relevan dengan penelitian, meliputi: konsep dasar *Electronic Control Unit* (ECU) dan sistem injeksi bahan bakar elektronik; protokol komunikasi K-Line sesuai standar ISO 9141-2 dan ISO 14230-4 (KWP2000); konsep *Direct Driver Access* dan pustaka FTDI D2XX; teori pengujian performa mesin menggunakan *Chassis Dynamometer*; serta kerangka pemikiran yang menghubungkan seluruh konsep dalam konteks penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian yang digunakan, meliputi: model pengembangan sistem (*Waterfall Model*); perancangan perangkat keras antarmuka berbasis *chipset* FTDI FT232RL; perancangan perangkat lunak aplikasi FLASHER dan SCANNER menggunakan bahasa pemrograman C#; teknik pengumpulan data melalui pengujian *dynamometer*; serta prosedur analisis data untuk memvalidasi efektivitas sistem yang dikembangkan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil implementasi dan pengujian sistem, meliputi: realisasi fisik modul antarmuka perangkat keras; tampilan dan fungsionalitas aplikasi FLASHER BY FRENGKI dan SCANNER BY FRENGKI; data hasil pengujian *dynamometer* pada Honda BeAT FI CBS K25, Honda Vario 125, dan Honda Vario 150; serta pembahasan analitis yang menginterpretasikan temuan dan mengaitkannya dengan landasan teori.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang menjawab rumusan masalah berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, serta saran untuk pengembangan sistem di masa mendatang, termasuk rekomendasi penambahan fitur konektivitas nirkabel (*wireless*) dan pengembangan aplikasi untuk platform *mobile*.