

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Konsep Dasar Sistem Monitoring Kendaraan

Sistem *monitoring* kendaraan adalah sebuah sistem yang dirancang untuk memantau kondisi dan data operasional kendaraan secara *real-time* untuk tujuan diagnostik, pengawasan, dan peningkatan efisiensi penggunaan kendaraan [9]. Sistem ini menggunakan berbagai sensor dan teknologi komunikasi seperti CAN Bus atau GPS untuk mengumpulkan data penting seperti kecepatan, posisi, konsumsi bahan bakar, suhu mesin, dan lain-lain [10], yang kemudian dikirim dan divisualisasikan kepada pengguna melalui aplikasi atau dashboard yang mudah diakses [11].

Sistem *monitoring* kendaraan pada umumnya memantau berbagai parameter penting yang menggambarkan kondisi operasional kendaraan untuk memastikan kendaraan berada dalam performa optimal dan mencegah kerusakan atau kerugian yang lebih besar. Parameter yang umum dipantau meliputi suhu mesin yang menunjukkan kesehatan sistem pendinginan, tekanan dan kualitas oli sebagai indikator pelumasan mesin yang baik, serta status aki yang memastikan suplai listrik kendaraan tetap stabil. Selain itu, sistem *monitoring* juga biasa memantau tekanan ban untuk keamanan berkendara, konsumsi bahan bakar untuk efisiensi, level cairan pendingin, serta kecepatan kendaraan dan jarak tempuh (odometer) untuk keperluan diagnosa dan pemeliharaan.

Berikut beberapa parameter umum yang dipantau pada kendaraan:

1. Suhu Mesin: Mengindikasikan temperatur kerja mesin, suhu mesin yang normal penting untuk menjaga performa optimal dan menghindari overheating yang bisa merusak komponen mesin.
2. Tekanan Oli: Menunjukkan tekanan pelumas dalam mesin; tekanan oli yang baik menjaga agar semua komponen mesin terlumasi dengan cukup sehingga mengurangi gesekan dan keausan.
3. Status Aki (Baterai): Menilai kondisi dan kapasitas baterai sebagai sumber listrik utama kendaraan untuk memastikan kendaraan dapat menyala dan beroperasi dengan benar.

4. Tekanan Ban: Memantau tekanan udara dalam ban untuk keselamatan berkendara, efisiensi bahan bakar, dan umur ban yang lebih panjang.
5. Konsumsi Bahan Bakar: Mengukur jumlah bahan bakar yang digunakan selama operasi kendaraan untuk mendukung pengaturan efisiensi dan perencanaan perawatan.
6. Level Cairan Pendingin: Memastikan ketersediaan pendingin di radiator untuk menjaga suhu mesin agar tetap stabil dan mencegah kerusakan akibat panas berlebihan.
7. Kecepatan Kendaraan: Data kecepatan kendaraan penting untuk diagnosa perilaku berkendara sekaligus isu keamanan dan efisiensi.
8. Odometer (Jarak Tempuh): Mengukur total jarak yang ditempuh kendaraan, digunakan untuk menentukan jadwal servis dan perawatan berkala.

Parameter-parameter ini biasanya diambil melalui sensor yang terhubung pada jaringan kendaraan seperti CAN bus dan disajikan secara *real-time* agar membantu pemantauan dan perawatan kendaraan secara proaktif [12, 11].

Sistem *monitoring* kendaraan sudah dapat ditemukan di sebagian besar kendaraan modern, dengan data ditampilkan ke pengguna atau operator melalui tampilan yang terdapat pada kendaraan. Namun, sistem *monitoring* kendaraan dapat dikembangkan untuk memberikan *feedback* untuk mendorong penggunaan kendaraan yang lebih aman dan efisien. Salah satu contoh yang telah dikaji adalah pemanfaatan *in-vehicle monitoring system* (IVMS) untuk mengurangi pola berkendara yang berisiko [13].

2.1.2 Teknologi Komunikasi Data Kendaraan

Teknologi komunikasi dalam kendaraan pada sistem otomotif sangat penting untuk menghubungkan berbagai *Electronic Control Unit* (ECU) yang mengendalikan berbagai fungsi kendaraan, memastikan pertukaran data yang tepat waktu, andal, dan aman di dalam kendaraan. Kendaraan modern umumnya dilengkapi dengan 30 hingga 70 ECU yang berkomunikasi melalui protokol khusus yang dirancang untuk lingkungan otomotif, menyeimbangkan keandalan, kecepatan, ketahanan terhadap kesalahan, dan keamanan [14].

Protokol komunikasi yang dapat ditemukan dalam kendaraan modern di antaranya adalah [14, 15, 16]:

1. *Controller Area Network (CAN)*

Protokol yang paling banyak digunakan untuk komunikasi dalam kendaraan, CAN adalah bus *multi-master* berbasis pesan yang mendukung transfer data yang andal dengan deteksi kesalahan bawaan. Protokol ini digunakan untuk pengendalian sistem *powertrain*, sistem pengereman, dan fungsi-fungsi kritis lainnya pada kendaraan yang memerlukan komunikasi *real-time* dan ketahanan terhadap kesalahan.

2. *Local Interconnect Network (LIN)*

LIN adalah protokol yang lebih sederhana dan berbiaya lebih rendah, dirancang untuk aplikasi non-kritis seperti pengendalian jendela, penyesuaian kursi, dan pencahayaan. Protokol ini beroperasi dalam konfigurasi *master-slave*, menyediakan kecepatan yang lebih lambat yang sesuai untuk subsistem yang kurang kompleks.

3. FlexRay

Dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan keamanan tinggi dan waktu nyata, seperti sistem bantuan pengemudi canggih (ADAS), FlexRay menawarkan komunikasi yang deterministik dan tahan kesalahan dengan bandwidth yang lebih tinggi dibandingkan dengan CAN dan LIN. Teknologi ini mendukung komunikasi dua saluran, yang memungkinkan redundansi dan meningkatkan keandalan.

4. *Media Oriented Systems Transport (MOST)*

MOST menargetkan ranah *multimedia* dan *infotainment* melalui topologi ring berkecepatan tinggi yang meminimalkan gangguan elektromagnetik dan mendukung streaming data sinkron untuk konten audio dan video di dalam kendaraan.

5. *Automotive Ethernet*

Teknologi ethernet semakin banyak diterapkan untuk memenuhi tuntutan *bandwidth* dan skalabilitas kendaraan modern. Ethernet otomotif mendukung komunikasi data berkecepatan tinggi untuk aplikasi seperti kamera resolusi tinggi, sensor ADAS, dan pembaruan perangkat lunak melalui udara. Teknologi ini menawarkan potensi untuk pengembangan di masa depan, namun saat ini masih memerlukan penanganan masalah terkait kinerja *real-time* dan keamanan.

A Controller Area Network Bus (CANBus)

Teknologi Controller Area Network (CAN) dikembangkan pada awal 1980-an oleh insinyur di Robert Bosch GmbH untuk mengatasi keterbatasan sistem kabel kendaraan yang ada dan memfasilitasi komunikasi *real-time* yang efisien di antara Unit Kontrol Elektronik (ECU) dalam kendaraan bermotor. Pengembangan ini dipimpin oleh Uwe Kiencke, dimulai sekitar tahun 1983, dengan tujuan mendukung fungsi-fungsi baru kendaraan melalui komunikasi multiplex yang andal daripada sekadar mengurangi kompleksitas kabel. Protokol CAN diperkenalkan secara publik pada tahun 1986 di kongres Society of Automotive Engineers (SAE), menampilkan inovasi seperti arbitrase non-destruktif, yang memungkinkan beberapa node berkomunikasi tanpa tabrakan, dan deteksi kesalahan yang andal dengan pengendalian kesalahan otomatis. Pada tahun 1987, chip pengontrol CAN dari Intel dan Philips telah membuat teknologi ini secara komersial layak, membuka jalan bagi adopsi luas dalam sistem otomotif [17, 18]. Teknologi ini dengan cepat mendapatkan popularitas, dengan Mercedes-Benz menjadi salah satu pionir dalam penerapan teknologi ini pada kendaraan produksi pada awal 1990-an. Ketahanan, toleransi kesalahan, dan kemampuan *real-time* CANBus menjadikannya ideal untuk mengintegrasikan berbagai subsistem kendaraan, mulai dari kontrol mesin dan transmisi hingga elektronik sasis dan bodi. Standarisasi melalui ISO 11898 pada tahun 1993 membantu mengukuhkan peran CAN sebagai protokol jaringan dalam kendaraan yang diakui secara *de facto*. Seiring waktu, protokol ini berkembang untuk memenuhi tuntutan modern, seperti pengenalan CAN FD (Flexible Data-rate) yang memungkinkan throughput data lebih tinggi sambil tetap kompatibel dengan versi sebelumnya. Kesuksesan CANBus berasal dari kekuatan teknisnya dan dukungan luas dari industri, menjadikannya fondasi komunikasi tertanam otomotif dari tahun 1990-an hingga saat ini [18, 19].

Controller Area Network beroperasi pada lapisan fisik dan lapisan tautan data model OSI, menyediakan komunikasi yang andal dan efisien antara node elektronik dalam sistem otomotif. Secara struktural, CAN menggunakan lapisan fisik dua kabel dengan sinyal diferensial (sesuai dengan ISO 11898-2) yang memungkinkan node terhubung melalui satu bus, sehingga meminimalkan kompleksitas kabel. Lapisan fisik mendefinisikan karakteristik listrik, laju sinyal (hingga 1 Mbps untuk CAN klasik dan hingga 8 Mbps untuk CAN FD), serta topologi bus dan terminasi (biasanya menggunakan resistor 120 Ohm di setiap ujung). Penggunaan sinyal diferensial membantu mengurangi kerentanan terhadap

noise di lingkungan otomotif yang keras, memastikan transmisi sinyal yang andal.

Pada lapisan tautan data (ISO 11898-1), komunikasi CAN disusun berdasarkan *frame*, yang merupakan unit data protokol yang berisi identifikasi yang juga berfungsi sebagai mekanisme prioritas, data *payload* (hingga 8 *byte* untuk CAN klasik dan lebih besar untuk CAN FD), serta bidang kontrol dan pemeriksaan kesalahan. *CAN frame* dapat berupa beberapa jenis, termasuk *frame* data (mengangkut data *payload*), *frame* permintaan jarak jauh, *frame* kesalahan, dan *frame* kelebihan beban. Protokol ini menggunakan arbitrase *bitwise* untuk menghindari tabrakan di bus dengan memungkinkan node dengan prioritas lebih tinggi (nilai identifikasi lebih rendah) mendominasi jaringan secara *real-time* tanpa kehilangan data atau penundaan pengiriman ulang. Penanganan kesalahan merupakan fitur inti, yang mencakup pemeriksaan redundansi siklik (CRC), slot konfirmasi, dan penghitungan kesalahan untuk mendeteksi dan mengelola kesalahan sambil menjaga integritas jaringan. Kombinasi akses prioritas dan manajemen kesalahan ini memungkinkan komunikasi yang sangat deterministik dan tahan kesalahan, yang kritis untuk sistem kontrol otomotif.

Proses komunikasi dalam CAN melibatkan pesan lapisan aplikasi yang difragmentasi menjadi pesan CAN berukuran standar dan antrian untuk transmisi. Proses arbitrase kemudian menentukan pesan mana yang akan mengakses bus berikutnya berdasarkan identifikasi prioritas. Node penerima memeriksa integritas *frame* dan merakit ulang pesan yang difragmentasi. Tumpukan protokol mencakup sublapisan *multiplexing* dan fragmentasi/*reassembly* yang menangani transmisi simultan *multiple* dan pengiriman efisien dataset yang lebih besar. Struktur berlapis ini menjamin pengiriman pesan dengan latensi rendah, keandalan tinggi, dan kemampuan untuk mengisolasi kesalahan tanpa mengganggu fungsi jaringan secara keseluruhan, yang sangat penting untuk aplikasi otomotif waktu nyata seperti manajemen mesin, pengereman, dan fungsi ADAS. [20, 21, 22, 23]

CANBus banyak digunakan dalam sistem otomotif karena menawarkan keandalan tinggi, komunikasi *real-time*, dan manajemen kesalahan yang efisien. Sistem ini memastikan pesan-pesan kritis dikirim tepat waktu, yang sangat penting untuk fungsi keselamatan seperti pengereman dan pengendalian mesin. Fitur deteksi kesalahan dan isolasi kesalahan CAN mencegah kegagalan jaringan secara luas, menjadikannya sangat tangguh dalam jaringan kendaraan yang kompleks. Selain itu, CAN mengurangi kompleksitas kabel dengan menghubungkan banyak unit kontrol pada satu bus, sehingga mengurangi biaya dan berat kendaraan. Desainnya yang skalabel dan fleksibel mendukung kebutuhan data yang terus

meningkat sambil tetap kompatibel dengan sistem yang ada, menjadikannya ideal untuk kendaraan modern dan masa depan. [18, 19]

B On Board Diagnostics (OBD-II)

On-Board Diagnostics II (OBD-II) merupakan sistem diagnostik kendaraan yang terstandarisasi, yang berkembang dari teknologi OBD-I sebelumnya untuk mengatasi masalah lingkungan dan kompleksitas kendaraan [24, 25]. Pengembangan sistem ini didorong oleh persyaratan pemerintah untuk mengontrol emisi gas buang kendaraan bermotor, terutama di daerah perkotaan dengan populasi kendaraan yang terus meningkat [25]. OBD-II menyediakan kerangka kerja diagnostik terpadu yang berfungsi di berbagai pabrikan dan model kendaraan, menggunakan protokol standar dan Parameter ID (PID) untuk mengakses data dari *Electronic Control Unit* (ECU) melalui komunikasi jaringan Controller Area Network (CAN) [8, 24]. Sistem ini mengimplementasikan standar ISO 15031 dan menggunakan kode kesalahan diagnostik (DTC) untuk deteksi dan pemantauan kesalahan [24, 26]. Implementasi modern memanfaatkan sistem tertanam seperti mikrokontroler STM32F407 untuk membangun komunikasi diagnostik antara ECU dan alat pengujian, memungkinkan pemantauan kesehatan kendaraan yang komprehensif [26].

Sistem OBD-II menggunakan beberapa protokol komunikasi diagnostik khusus untuk pemantauan kendaraan bermotor. Infrastruktur komunikasi dasar yang mendasarinya bergantung pada protokol *Controller Area Network* (CAN), yang menangani lapisan Fisik dan *Data Link* tetapi memerlukan kemampuan diagnostik tambahan [26]. Protokol diagnostik utama meliputi ISO 15031, yang menyediakan layanan diagnostik standar untuk komunikasi yang andal antara ECU dan alat diagnostik [26]. Protokol ISO 9141-2 dan ISO 14230 sering diimplementasikan karena kompatibilitas antarmuka fisiknya [27]. Sistem OBD-II beroperasi melalui berbagai *Parameter ID* (PID) dan mode untuk mengakses data ECU melalui komunikasi CANBus, menggunakan format pesan permintaan dan respons [24]. Protokol tambahan yang mendukung diagnostik otomotif meliputi LIN, FlexRay, MOST, Ethernet, I2C, dan UART, masing-masing melayani subsistem kendaraan yang berbeda termasuk *powertrain*, *infotainment*, dan jaringan sensor [28, 27]. Protokol-protokol ini secara kolektif memfasilitasi deteksi kesalahan komprehensif melalui *Diagnostic Trouble Codes* (DTC) dan pemantauan parameter kendaraan secara *real-time*.

Sistem OBD-II pada kendaraan penumpang modern menyediakan akses ke berbagai parameter diagnostik dan kinerja melalui protokol standar. Parameter utama yang dapat diakses meliputi pengukuran terkait mesin seperti kecepatan mesin (RPM), beban mesin, posisi throttle, dan nilai torsi, serta pembacaan suhu untuk udara sekitar, pendingin, dan oli [29, 30]. Parameter operasi kendaraan mencakup kecepatan, percepatan, aliran udara, dan metrik konsumsi bahan bakar [29, 30]. Diagnostik sistem listrik meliputi pemantauan beban alternator dan tegangan baterai 12V [30]. Sistem ini juga menyediakan data waktu injeksi dan memungkinkan perhitungan daya mesin instan [30]. OBD-II menggunakan mode dan *Parameter ID* (PID) yang berbeda untuk mengakses data dari *Electronic Control Unit* (ECU) melalui komunikasi CANBus, dengan *Diagnostic Trouble Codes* (DTC) tersedia untuk identifikasi kesalahan [24]. Parameter-parameter ini memungkinkan pemantauan *real-time* untuk optimasi kinerja, penilaian efisiensi bahan bakar, dan diagnostik pemeliharaan.

Teknologi OBD-II (On-Board Diagnostics) memberikan manfaat signifikan bagi aplikasi otomotif melalui kemampuan diagnostik dan pemantauan kendaraan yang terstandarisasi. Sistem ini memungkinkan pemilik kendaraan dan teknisi untuk mengakses informasi komprehensif tentang berbagai subsistem kendaraan, memudahkan deteksi dini kerusakan dan malfungsi, terutama yang terkait dengan komponen pengendalian emisi [31]. OBD-II menciptakan kerangka kerja diagnostik terpadu yang berfungsi di berbagai merek dan model kendaraan, menggantikan metode diagnostik "*trial-and-error*" yang tidak efisien dengan pemantauan elektronik yang canggih [8]. Teknologi ini wajib diterapkan untuk mengurangi emisi polutan dan menjaga komponen kritis tetap terkendali selama operasi kendaraan, serta memberi peringatan kepada pengemudi tentang malfungsi serius [32]. Namun, antarmuka OBD juga memiliki kerentanan keamanan, karena dapat dieksploitasi melalui berbagai titik serangan termasuk alat mekanik, Bluetooth, dan saluran komunikasi nirkabel, sehingga memerlukan mekanisme autentikasi yang ditingkatkan [33].

2.1.3 Monitoring dan Visualisasi Data Kendaraan

Monitoring dan visualisasi data kendaraan memiliki peran yang sangat penting dalam sistem diagnostik modern karena memungkinkan deteksi dini terhadap masalah mekanis atau elektronik sebelum menjadi kerusakan besar. Dengan data yang dipantau secara *real-time* seperti konsumsi bahan bakar, emisi,

kondisi mesin, dan kesehatan pelat baterai—teknisi atau sistem otomatis dapat segera mengidentifikasi perilaku abnormal dan mengambil tindakan preventif yang mengurangi risiko kegagalan mendadak. [34, 35]

Visualisasi data memperjelas informasi mentah sehingga lebih mudah dipahami, baik untuk pengambilan keputusan cepat oleh teknisi maupun untuk pengguna kendaraan. Dashboard interaktif atau grafik *real-time*, misalnya, membantu menunjukkan tren penurunan performa atau kenaikan suhu mesin secara visual, yang bisa tidak langsung terlihat melalui angka saja. Dengan visualisasi yang baik pula, pemeliharaan kendaraan dapat dilakukan lebih efektif, sehingga biaya operasional turun, umur komponen diperpanjang, dan keselamatan berkendara meningkat. [34, 35]

Selain itu, sistem yang menggabungkan *real-time monitoring* dan visualisasi mendukung transparansi dan akuntabilitas bagi pemilik kendaraan atau perusahaan *fleet*, karena laporan kondisi kendaraan menjadi lebih mudah diverifikasi dan dipahami. Hal ini penting bukan hanya untuk mengoptimalkan kinerja kendaraan, tetapi juga untuk memastikan kepatuhan terhadap regulasi keselamatan dan lingkungan. [34, 35]



2.2 Systematic Literature Review

Tabel 2.1. *Systematic Literature Review* Penelitian

No	Referensi	Fokus	Metode	Hasil	Keterbatasan	Relevansi
1	Rykata et al. (2023) – Modeling Vehicle Fuel Consumption Using a Low-Cost OBD-II Interface	Pemodelan konsumsi bahan bakar kendaraan menggunakan data perangkat OBD-II berbiaya rendah yang terhubung ke ponsel.	Pengujian kendaraan nyata; Model regresi multivariat dengan memberikan hasil terbaik; regresi multivariat, pohon neural network juga keputusan, dan jaringan saraf tiruan.	Data uji terbatas pada jumlah kendaraan dan kondisi tertentu. OBD-II dapat digunakan untuk pemantauan konsumsi bahan bakar secara murah dan efektif.		Menunjukkan bahwa data OBD-II dapat digunakan untuk pemantauan konsumsi bahan bakar secara murah dan efektif.
2	Khan et al. (2022) – A Machine Learning Approach for Driver Identification Based on CAN-BUS Sensor Data	Identifikasi pengemudi menggunakan data sensor CAN-BUS melalui OBD-II.	Eksperimen dengan dataset Ocslab menggunakan algoritma ML (k-NN, SVM, Logistic Regression, REP Tree).	Akurasi tinggi untuk jumlah pengemudi kecil; hasil signifikan dibanding baseline publik.	Dataset terbatas (KIA); keterbatasan akses PID non-publik.	Dasar untuk penelitian perilaku pengemudi berbasis data CAN-BUS dan OBD-II dengan ML.
3	Rimpas et al. (2020) – OBD-II Sensor Diagnostics for Monitoring Vehicle Operation and Consumption	Pemantauan real-time operasi dan konsumsi kendaraan melalui sensor OBD-II.	Pengambilan data sensor melalui protokol CAN bus dan OBD-II selama kendaraan beroperasi.	Perilaku pengemudi berpengaruh pada konsumsi bahan bakar; diverifikasi dengan data pabrikan.	Uji coba hanya satu kendaraan (proof of concept).	Mendukung pengembangan sistem pemantauan berbasis perilaku pengemudi.
4	Türker & Gündüz (2020) – Identifying Driver Behaviour Through Onboard Diagnostic Using CAN Bus Signals	Analisis perilaku pengemudi menggunakan data OBD-II dan sinyal CAN.	Klasifikasi gaya mengemudi menggunakan algoritma ML.	Sistem berhasil mengidentifikasi tipe pengemudi dan memberi umpan balik real-time.	Variabel terbatas (kecepatan, empat RPM).	Referensi penting untuk integrasi analisis perilaku dalam sistem monitoring OBD-II/CAN.
5	Anton & Florescu (2020) – Measuring Vehicle's Powertrain Parameters Using OBD-II Diagnostics Interface	Pengukuran parameter powertrain melalui antarmuka OBD-II.	Pengambilan data OBD-II dan validasi matematis di jalan nyata.	OBD-II dapat menggantikan alat uji mahal seperti dinamometer.	Fokus pada pengukuran, bukan prediksi.	Menunjukkan nilai teknis OBD-II untuk akuisisi data performa kendaraan.

Lanjut ke halaman berikutnya

Tabel 2.1 *Systematic Literature Review* Penelitian (Lanjutan)

No	Referensi	Fokus	Metode	Hasil	Keterbatasan	Relevansi
6	Oluwaseyi & Sunday (2020) – Specifications and Analysis of Digitized Diagnostics of Automobiles: A Case Study of OBD-II	Analisis spesifikasi dan performa sistem diagnostik kendaraan berbasis OBD-II.	Pengujian beberapa kendaraan dengan Launch X431 dan Autel MaxiDiag.	OBD-II mendeteksi gangguan dan menurunkan emisi.	Studi deskriptif, tanpa analisis lanjutan.	Memberikan pemahaman dasar fungsi dan protokol OBD-II.
7	Junaidi & Asri (2023) – Rancang Bangun Sistem Monitoring Kendaraan Secara Realtime Menggunakan OBD-II Scanner	Sistem monitoring realtime kendaraan menggunakan OBD-II, MQTT, dan Grafana.	Eksperimen berbasis InfluxDB dan MQTT untuk dashboard Grafana.	Sistem menampilkan parameter kendaraan realtime dan meningkatkan efisiensi pemantauan.	Pengujian terbatas pada satu perusahaan.	Implementasi praktis teknologi OBD-II dalam IoV.
8	Rybitskyi et al. (2023) – Using OBD-II Technology for Vehicle Diagnostic and Using OBD-II. It in the Information System	Pengembangan sistem diagnostik universal berbasis arsitektur dan protokol komunikasi OBD-II serta scanner ELM327.	Studi konseptual terhadap protokol kendaraan lintas merek melalui OBD-II serta RS-232/Bluetooth/Wi-Fi.	Prototipe sistem membaca data kendaraan lintas merek melalui RS-232/Bluetooth/Wi-Fi.	Belum diuji lapangan; kompatibilitas antar merek belum diverifikasi.	Dasar pengembangan sistem monitoring kendaraan universal yang murah dan kompatibel lintas merek.