

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi memegang peranan penting dalam kehidupan modern dan terus berkembang seiring kemajuan teknologi. Di Indonesia, peningkatan sarana dan prasarana transportasi terlihat dari bertambahnya layanan transportasi umum yang digunakan masyarakat (Karim, 2023; Putra, 2023). Kereta api menjadi salah satu moda yang paling diminati karena memiliki jalur khusus sehingga bebas dari kemacetan, mampu membawa penumpang dan barang dalam jumlah besar, hemat energi, dan memiliki tingkat keselamatan yang tinggi (Prmayastiwi, 2013; Rene Hario, 2023). Secara struktur, kereta api terdiri atas kereta, gerbong, dan lokomotif sebagai komponen utama yang berfungsi sebagai sumber tenaga penggerak. Berdasarkan UU No.23 Tahun 2007 Pasal 96 Ayat 1 tentang Perkeretaapian, dijelaskan bahwa “Lokomotif merupakan sarana transportasi darat yang berjalan diatas lintasan baja yang memiliki mesin penggerak yang digunakan sebagai penarik dan/atau pendorong gerbong, kereta dan/atau peralatan khusus dan tidak untuk mengangkut penumpang maupun barang”. Lokomotif umumnya terletak pada bagian depan atau belakang rangkaian kereta dan bersungsi sebagai sumber tenaga penggerak utama.

Dalam sistem transportasi kereta api, kegiatan perawatan (maintenance) menjadi faktor penting untuk menjaga keandalan dan keamanan operasi. Perawatan merupakan kegiatan pendukung produksi yang bertujuan mencegah atau mengurangi terjadinya kerusakan pada peralatan, sehingga mesin dapat berfungsi optimal selama masa operasional yang telah direncanakan (Nasution, 2021). Mengingat kereta api menarik beban berat dengan kecepatan tinggi, maka kelalaian dalam perawatan dapat menimbulkan risiko kecelakaan serius. Keandalan alat akan menurun seiring bertambahnya usia penggunaan, sehingga diperlukan kegiatan pemeliharaan rutin untuk menjaga kinerja mesin. Tujuan utama perawatan lokomotif adalah memastikan agar tidak terjadi kerusakan atau gangguan sebelum perjalanan serta menjaga kondisi lokomotif agar tetap dalam keadaan optimal demi keamanan dan kenyamanan. (Rene Hario, 2023)

Jenis perawatan yang diterapkan adalah perawatan terjadwal yang bertujuan memperpanjang umur operasional lokomotif, meminimalkan waktu kerusakan, serta mencegah kerusakan yang tidak terduga. Penggunaan lokomotif secara terus-menerus berpotensi menurunkan kinerja mesin, terutama pada filter udara mesin diesel yang berperan penting dalam proses pembakaran. Oleh karena itu, pembersihan filter udara secara berkala menjadi langkah penting untuk menjaga efisiensi kinerja mesin. Namun, proses pembersihan manual memiliki keterbatasan, pada area yang sulit dijangkau. Salah satu komponen vital dalam mesin diesel lokomotif adalah Engine Filter atau filter udara, yang berfungsi menyaring partikel debu, kotoran, dan kontaminan lainnya dari udara sebelum udara masuk ke ruang bakar. Udara bersih akan menghasilkan campuran bahan bakar dan udara yang optimal, sehingga proses pembakaran menjadi efisien dan tenaga mesin maksimal. Selain itu, filter udara juga melindungi mesin dari keausan akibat masuknya partikel asing yang dapat merusak komponen internal seperti piston dan silinder (Mada, 2018).

Pada praktiknya, pembersihan filter udara lokomotif hingga saat ini masih banyak dilakukan secara manual. Proses ini memerlukan waktu yang relatif lama, melibatkan risiko keselamatan kerja, serta sangat bergantung pada keterampilan teknisi. Secara umum, pembersihan manual meliputi tahapan pelepasan filter dari housing-nya, pembersihan menggunakan udara bertekanan atau cairan pembersih, dan pemasangan kembali filter pada mesin. Berdasarkan informasi dari pengalaman praktisi di lapangan, waktu yang dibutuhkan untuk membersihkan satu set filter udara pada mesin diesel berukuran besar secara manual mencapai 1-2 jam. Pada lokomotif yang memiliki filter 14 udara, waktu pembersihan menjadi semakin lama, terlebih jika terdapat beberapa lokomotif yang sedang dalam proses perawatan (Maulana, 2025). Data tersebut menjadi dasar perlunya dikembangkan model sistem pembersih filter yang dianalisis secara teoretis dalam penelitian ini.

Dalam sistem mesin diesel lokomotif, sistem pemasukan udara memiliki peran penting dalam menunjang proses pembakaran yang efisien. Udara yang masuk ke ruang bakar harus berada dalam kondisi bersih agar proses pencampuran dengan bahan bakar dapat berlangsung secara optimal. Menurut (Randive Vishal, 2017), kualitas udara masuk secara langsung memengaruhi efisiensi pembakaran,

daya mesin, serta konsumsi bahan bakar pada mesin diesel.

Filter udara merupakan komponen utama dalam sistem pemasukan udara yang berfungsi menyaring partikel debu dan kotoran dari udara luar sebelum masuk ke ruang bakar. Penumpukan debu pada filter udara dapat menyebabkan peningkatan hambatan aliran udara dan tekanan diferensial, sehingga debit udara yang masuk ke mesin menjadi berkurang. Kondisi tersebut berdampak pada penurunan performa mesin, peningkatan konsumsi bahan bakar, serta peningkatan emisi gas buang (Pundir, 2010).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kondisi filter udara yang tersumbat atau kotor dapat menurunkan efisiensi volumetrik dan daya output mesin diesel secara signifikan. Penyumbatan filter udara menyebabkan penurunan suplai oksigen ke ruang bakar, yang berakibat pada pembakaran tidak sempurna dan penurunan kinerja mesin diesel. Oleh karena itu, filter udara memerlukan pemeliharaan dan pembersihan secara berkala agar mesin dapat beroperasi pada kondisi optimal.

Pada praktik pemeliharaan konvensional mesin diesel lokomotif, proses pembersihan filter udara umumnya masih dilakukan secara manual. Proses tersebut meliputi pelepasan filter dari rumah filter, pembersihan menggunakan udara bertekanan atau metode mekanis, serta pemasangan kembali filter ke dalam sistem. Prosedur ini memerlukan waktu pemeliharaan yang relatif lama, yaitu hingga sekitar dua jam, tergantung pada tingkat kekotoran filter dan aksesibilitas komponen. Waktu pemeliharaan yang panjang berpotensi menurunkan tingkat ketersediaan (availability) lokomotif dan mengganggu kesiapan operasional sarana perkeretaapian.

Selain berdampak pada ketersediaan lokomotif, proses pembersihan filter udara secara manual juga memiliki risiko ketidakkonsistenan hasil pembersihan dan potensi kesalahan manusia. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pemeliharaan yang lebih efisien, cepat, dan terkontrol untuk mengurangi durasi pemeliharaan tanpa mengorbankan efektivitas pembersihan filter udara.

Seiring dengan perkembangan teknologi otomasi dan sistem kendali berbasis mikrokontroler, pengembangan sistem pembersih filter udara yang terintegrasi dengan sistem kontrol menjadi salah satu solusi yang potensial. Sistem pembersih filter udara yang dirancang secara otomatis atau semi-otomatis diharapkan mampu

mempercepat proses pembersihan dibandingkan metode manual, sehingga waktu pemeliharaan yang sebelumnya dapat mencapai dua jam dapat dikurangi secara signifikan. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis efisiensi dan efektivitas sistem pembersih filter udara mesin diesel lokomotif berbasis mikrokontroler Arduino Uno melalui pendekatan simulasi.

Namun demikian, sebelum sistem tersebut dikembangkan dan diterapkan secara fisik, diperlukan kajian awal untuk memahami karakteristik, potensi kinerja, serta keterbatasan sistem secara teoretis. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis teoretis dan simulasi sistem pembersih filter udara mesin diesel lokomotif berbasis Arduino Uno, dengan meninjau aspek efisiensi dan efektivitas sistem berdasarkan hasil pemodelan dan simulasi menggunakan MATLAB.

Oleh karena itu, penelitian ini mengangkat tugas akhir berjudul “Analisis Teoretis Efisiensi dan Efektivitas Sistem Pembersih Filter Udara Mesin Diesel Lokomotif Berbasis Arduino Uno di PT KAI Daop V”, yang difokuskan pada analisis konseptual dan simulatif terhadap kinerja sistem pembersih filter udara. Penelitian ini merupakan analisis teoretis berbasis simulasi menggunakan MATLAB. Arduino Uno digunakan sebagai representasi logika kendali, bukan sebagai perangkat keras fisik.

1.2 Gambaran Umum Mesin Diesel Lokomotif PT. KAI (Persero)



Gambar 1. 1 Sistem Pembersih Filter Udara pada Mesin Diesel Lokomotif

Mesin diesel lokomotif yang digunakan oleh PT. Kereta Api Indonesia (Persero) merupakan mesin pembakaran dalam yang berfungsi sebagai sumber tenaga utama penggerak lokomotif. Sistem mesin diesel lokomotif dirancang untuk bekerja pada kondisi beban tinggi dan durasi operasi yang panjang, sehingga memerlukan sistem pendukung yang terintegrasi dan andal guna menjaga kinerja mesin tetap optimal selama pengoperasian.

Secara umum, sistem mesin diesel lokomotif terdiri atas beberapa subsistem utama, yaitu sistem pemasukan udara, sistem bahan bakar, sistem pembakaran, sistem pembuangan gas buang, sistem pendinginan, dan sistem pelumasan. Seluruh subsistem tersebut bekerja secara terkoordinasi untuk menghasilkan tenaga mekanik yang kemudian dikonversikan menjadi tenaga gerak lokomotif. Gambaran umum sistem mesin diesel lokomotif PT. Kereta Api Indonesia (Persero) ditunjukkan pada Gambar 1.1, yang memperlihatkan alur kerja mesin mulai dari pemasukan udara hingga pembuangan gas hasil pembakaran.

1.3 Penelitian Terdahulu

Penelitian lainnya oleh Nashruddin pada tahun 2023 berjudul “Alat Bantu Sistem Pembersih Filter Udara Otomatis untuk Efektivitas Perawatan pada Mesin Diesel Kereta Api” berfokus pada pengembangan alat otomatis untuk mengatasi kendala pembersihan filter udara secara manual yang sulit dijangkau. Penelitian ini menggunakan metode reverse engineering untuk merancang mekanisme mesin, sistem pneumatik, dan analisis performa alat. Hasil perhitungan menunjukkan panjang langkah piston sebesar 400 mm dengan diameter piston 32 mm, serta gaya penggerak yang berasal dari suplai udara bertekanan 6 bar dengan luas penampang silinder 25,12 cm². Estimasi kebutuhan daya udara adalah 12,057 L/menit. Pengujian menunjukkan bahwa alat mampu melakukan pembersihan dalam waktu 40 menit untuk 16 L udara, lebih cepat 10 menit dibandingkan alat sebelumnya. Penelitian ini menyarankan penggunaan PLC untuk kontrol otomatis yang lebih efisien dan penambahan unit pembersih udara serta material rangka yang lebih ringan untuk meningkatkan mobilitas alat (Nashruddin, 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh (Sembodo, 2024) berjudul “Meningkatkan Efektivitas Proses Purging Engine di Bengkel Menggunakan Diesel Purging Kit

Berbasis Arduino Uno di PT Astra International Isuzu Sales Operation Cabang Ciputat” dilatarbelakangi oleh permasalahan proses purging bahan bakar secara konvensional yang tidak mampu menampilkan tingkat kekeruhan cairan secara real time. Untuk mengatasi hal tersebut, dikembangkan diesel purging kit berbasis Arduino Uno yang dilengkapi digital display sehingga mekanik dapat memantau tingkat kekeruhan cairan selama proses berlangsung. Penelitian ini menggunakan metode Quality Control Circle (QCC) dengan pendekatan SQCDME serta penetapan target berbasis metode SMART. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat kekeruhan cairan meningkat signifikan pada menit ke-5 hingga menit ke-20, dengan peningkatan hanya 2% pada akhir proses dan nilai kekeruhan maksimum mencapai 72%. Penggunaan alat ini juga mampu mengurangi waktu pengerjaan purging sebesar 30 menit dibandingkan metode sebelumnya dan memberikan potensi peningkatan pendapatan bengkel sebesar Rp128.916. Berdasarkan hasil tersebut, alat diesel purging kit berbasis Arduino Uno dinyatakan efektif, efisien, serta layak digunakan dalam proses perawatan sistem bahan bakar (Sembodo, 2024).

Penelitian yang dilakukan oleh (Maulana, 2025) dengan judul “Desain Alat Pembersih Filter Udara Dinding Lokomotif CC 201 dan CC 203 Pada Depo Lokomotif Purwokerto”, bertujuan untuk merancang dan menganalisis desain alat pembersih filter udara pada dinding lokomotif CC 201 dan CC 203 guna mempermudah proses pembersihan. Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) digunakan untuk menganalisis pola aliran fluida, distribusi kecepatan, serta tekanan udara pada alat pembersih. Hasil simulasi menunjukkan bahwa daya kompresor yang dibutuhkan sebesar 1,3 kW dan daya vacuum cleaner sebesar 1,1 kW. Kecepatan rata-rata aliran udara mencapai 54 m/s dengan tekanan internal 1,3 bar. Perhitungan safety factor menunjukkan nilai 2,5 pada rangka penopang kompresor, 4,1 pada rangka penopang tabung pembersih, dan 3,4 pada rangka penopang vacuum cleaner, yang menunjukkan desain struktur yang aman. Waktu pembersihan rata-rata tercatat sebesar 18,9 detik atau terjadi pengurangan waktu sebesar 22,7% dibandingkan metode manual, dengan efektivitas pembersihan mencapai 79,3% (Maulana, 2025).

Penelitian terdahulu digunakan sebagai dasar konseptual dan pembanding

dalam penelitian ini. Beberapa penelitian sebelumnya membahas perawatan sistem aliran udara lokomotif, pengembangan alat pembersih filter udara, serta penerapan sistem otomatis berbasis mikrokontroler. Namun, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada implementasi alat atau pengujian eksperimental. Perbedaan utama penelitian ini terletak pada pendekatan yang digunakan, yaitu analisis teoretis dan simulasi, yang bertujuan untuk mengevaluasi potensi efisiensi dan efektivitas sistem sebelum dilakukan pengembangan fisik. Dengan demikian, penelitian ini memiliki kontribusi sebagai kajian awal yang bersifat konseptual dan mendukung penelitian lanjutan yang lebih aplikatif.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian yang berjudul “Analisis Teoretis Efisiensi dan Efektivitas Sistem Pembersih Filter Udara Mesin Diesel Lokomotif Berbasis Arduino Uno di PT. KAI Daop V” adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana model simulasi sistem pembersih filter udara mesin diesel lokomotif berbasis Arduino Uno?
- 2) Bagaimana tingkat efisiensi sistem pembersih filter udara ditinjau dari waktu dan energi pembersihan?
- 3) Bagaimana efektivitas sistem dalam menurunkan tekanan diferensial dan konsentrasi partikel udara filter?

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan masalah yang akan dibahas pada penulisan tugas akhir ini sebagai berikut:

- 1) Penelitian dilakukan menggunakan pendekatan teoretis dan simulasi MATLAB.
- 2) Sistem pembersih filter udara tidak direalisasikan secara fisik.
- 3) Analisis dibatasi pada satu siklus operasi sistem.
- 4) Parameter sensor dan tekanan direpresentasikan dalam bentuk model matematis.

1.6 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin diperoleh dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Membuat model simulasi sistem pembersih filter udara mesin diesel lokomotif berbasis Arduino Uno.
- 2) Mengetahui tingkat efisiensi sistem pembersih filter udara berdasarkan hasil simulasi.
- 3) Mengetahui tingkat efektivitas sistem dalam menurunkan tekanan diferensial dan konsentrasi partikel udara filter.

1.7 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagi Mahasiswa
 - a. Sebagai sarana penerapan konsep teori otomasi, sistem kendali, dan analisis efisiensi dalam bidang teknik mesin.
 - b. Menambah wawasan dan pemahaman mengenai analisis sistem berbasis mikrokontroler melalui pendekatan teoretis dan simulasi.
 - c. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan sistem perawatan otomatis di bidang permesinan dan transportasi.
- 2) Bagi dunia industri
 - a. Memberikan gambaran awal mengenai potensi sistem pembersih filter udara otomatis yang efisien dan efektif untuk diterapkan pada mesin diesel lokomotif.
 - b. Menjadi bahan pertimbangan awal dalam pengembangan teknologi perawatan berbasis otomasi sebelum dilakukan implementasi nyata.
- 3) Bagi Universitas
 - a. Memberikan gambaran awal mengenai potensi sistem pembersih filter udara otomatis yang efisien dan efektif untuk diterapkan pada mesin diesel lokomotif.
 - b. Menjadi bahan pertimbangan awal dalam pengembangan teknologi perawatan berbasis otomasi sebelum dilakukan implementasi nyata.

