

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan Masalah

Lingkungan kampus idealnya menjadi ruang akademik yang aman, tertib, serta mampu menunjang seluruh proses pendidikan secara optimal. Universitas Andalas sebagai salah satu institusi pendidikan tinggi memiliki komitmen dalam menciptakan lingkungan akademik yang kondusif bagi seluruh civitas akademika. Namun, dalam prakteknya, kompleksitas aktivitas kampus yang tinggi berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan apabila tidak didukung oleh sistem tata kelola, pengawasan, dan pengendalian lingkungan yang optimal. Kondisi tersebut dapat berdampak pada kualitas proses pembelajaran, kenyamanan civitas akademika, serta citra institusi.

Beberapa permasalahan seperti kebisingan akustik yang mengganggu kegiatan akademik, potensi risiko keamanan fisik, gangguan terhadap fasilitas kampus, serta pelanggaran etika dan tata tertib masih berpotensi terjadi di lingkungan Universitas Andalas. Hal ini menunjukkan bahwa diperlukan upaya berkelanjutan untuk meningkatkan indikator lingkungan kampus yang kondusif. Selain itu, keterbatasan sistem monitoring yang mampu memberikan peringatan dini terhadap kejadian yang berpotensi mengganggu proses akademik, baik berupa gangguan suara, ancaman keselamatan, maupun perilaku menyimpang mahasiswa, menjadi tantangan tersendiri dalam pengelolaan lingkungan kampus.

Kebisingan yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor dengan knalpot tidak standar, misalnya, telah mengganggu proses perkuliahan dan konsentrasi belajar. Mengacu pada standar kebisingan lingkungan, tingkat kebisingan kawasan pendidikan seharusnya berada di bawah 55 dB, sementara suara knalpot tidak standar dapat mencapai 90–100 dB [1]. Dalam kegiatan sehari-hari masih dijumpai kendaraan bermotor tidak memenuhi persyaratan baik salah satunya memakai knalpot tidak standar terhadap sepeda motor yang tidak sesuai standar dalam berkendara. Praktik ini melanggar beberapa peraturan, termasuk Pasal 285 ayat

(1), Pasal 210, dan Pasal 106 ayat (3) juncto Pasal 48 ayat (2) dan (3) Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Selain itu, penggunaan knalpot tidak standar juga bertentangan dengan Pasal 1 ayat (1) dan Pasal 4 Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (PERMEN LH) No. 07 Tahun 2009 yang mengatur tentang ambang batas kebisingan kendaraan bermotor tipe baru [2.]. Oleh karena itu, penggunaan kendaraan bermotor dengan knalpot tidak standar oleh sebagian mahasiswa menimbulkan kebisingan yang signifikan. Kondisi ini berdampak negatif terhadap kenyamanan civitas akademika, mengganggu jalannya proses belajar mengajar, serta mengurangi ketertiban dan suasana kondusif di area kampus.

Kondisi tersebut menguatkan bahwa kampus belum memiliki sistem pengawasan yang memadai untuk menjaga ketertiban, keamanan, dan kenyamanan seluruh civitas akademika. Hal tersebut berkontribusi pada menurunnya mutu lingkungan akademik secara keseluruhan, mengganggu kenyamanan belajar mahasiswa dan dosen, serta meningkatkan berbagai risiko keselamatan di dalam kampus. Kondisi ini menunjukkan perlunya pembenahan sistemik melalui pengawasan yang lebih terstruktur, responsif, dan terintegrasi, sehingga setiap bentuk gangguan baik fisik, sosial, maupun perilaku dapat terdeteksi lebih awal dan dicegah sebelum menimbulkan dampak yang lebih luas terhadap kualitas kegiatan akademik.

Stakeholder yang terkait dengan permasalahan ini adalah Mahasiswa dan dosen, Pengelola Fasilitas dan Kebersihan Kampus, Manajemen Universitas, Keamanan Kampus / Satuan Pengamanan (Satpam)

1. Mahasiswa dan Dosen

Mahasiswa dan dosen sebagai pengguna utama ruang belajar, auditorium, dan fasilitas kampus akan memperoleh lingkungan akademik yang lebih nyaman apabila berbagai gangguan seperti kebisingan, ancaman keselamatan, atau kondisi ruang yang tidak terawasi dapat diatasi. Kenyamanan belajar meningkat, risiko gangguan kesehatan berkurang, dan kegiatan akademik maupun non-akademik dapat berlangsung lebih efektif tanpa interupsi dari faktor-faktor eksternal yang seharusnya dapat dicegah.

2. Pengelola Fasilitas dan Kebersihan Kampus

Petugas pengelola gedung dan kebersihan kampus sangat bergantung pada kesiapan sistem pengawasan. Dengan adanya perbaikan tata kelola dan sistem deteksi otomatis, beban kerja mereka dalam menangani kerusakan fasilitas, pembersihan akibat gangguan hewan, maupun pemantauan area rawan dapat berkurang secara signifikan. Hal ini juga berdampak pada efisiensi biaya pemeliharaan jangka panjang.

3. Manajemen Universitas

Pihak manajemen memerlukan data, keamanan, dan pengawasan yang baik untuk menjaga kualitas layanan kepada civitas akademika. Ketika masalah seperti kebisingan, pelanggaran etika, atau kerusakan fasilitas dapat diminimalkan melalui sistem yang terintegrasi, maka komitmen universitas terhadap kenyamanan, keamanan, serta standar kualitas kampus akan semakin kuat. Hal ini juga berdampak positif pada citra institusi di mata mahasiswa, dosen, serta pihak eksternal.

4. Keamanan Kampus / Satuan Pengamanan (Satpam)

Satuan pengamanan kampus merupakan pihak yang sangat terbantu dengan adanya sistem pemantauan otomatis. Deteksi dini terhadap aktivitas mencurigakan, kerusakan fasilitas, atau potensi pelanggaran akan mempermudah respons cepat dan penanganan sesuai prosedur. Dengan demikian, efektivitas pengamanan kampus semakin meningkat dan risiko kejadian yang tidak diinginkan dapat diminimalisir.

1.1.1 Informasi Pendukung Masalah

Permasalahan menurunnya kualitas lingkungan akademik di kampus diperkuat oleh berbagai data empiris, kajian ilmiah, serta fakta lapangan yang berasal dari aspek kebisingan, keamanan fasilitas, kesehatan lingkungan, hingga perilaku sosial civitas akademika. Setiap permasalahan yang muncul tidak berdiri sendiri, tetapi saling berkaitan dan menunjukkan lemahnya tata kelola serta kurangnya sistem pengawasan terpadu. Berikut adalah informasi pendukung yang memperkuat urgensi masalah tersebut.

Knalpot tidak standar merupakan sumber kebisingan yang mengganggu dan berdampak negatif pada lingkungan serta kesehatan masyarakat. Masalah ini diperkuat oleh data dan regulasi yang ada, yang menunjukkan betapa seriusnya dampak yang ditimbulkan, mulai dari aspek hukum, kesehatan, hingga lingkungan.

1. Regulasi dan Batas Kebisingan

Indonesia memiliki regulasi yang jelas mengenai baku mutu tingkat kebisingan, terutama untuk lingkungan yang membutuhkan ketenangan. Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 48 Tahun 1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan, kawasan pendidikan, seperti sekolah dan kampus, termasuk dalam area yang memiliki batas toleransi kebisingan paling rendah. Batas Maksimum Kebisingan Kementerian Lingkungan Hidup menetapkan bahwa tingkat kebisingan maksimum untuk kawasan pendidikan dan sejenisnya, termasuk rumah sakit dan tempat ibadah adalah 55 dB pada siang hari. Sedangkan Knalpot tidak standar seringkali menghasilkan tingkat kebisingan yang jauh di atas batas ini, bahkan bisa mencapai 100 dB atau lebih, tergantung modifikasinya. Tingkat kebisingan ini jauh melebihi batas aman yang diperbolehkan[2].

2. Dampak Kesehatan Akibat Kebisingan

Paparan kebisingan tinggi secara terus-menerus dapat memicu berbagai masalah kesehatan yang serius, baik secara fisiologis maupun psikologis. *World Health Organization* (WHO) menekankan pentingnya mengendalikan kebisingan untuk kesehatan public [3][4]:

1. Gangguan Fisiologis: Menurut standar WHO (2018), paparan kebisingan diatas 85 dB secara terus-menerus dapat menyebabkan gangguan seperti peningkatan tekanan darah, detak jantung, dan stres. Dalam jangka panjang, hal ini dapat meningkatkan risiko penyakit kardiovaskular [3][4]
2. Gangguan Pendengaran: Paparan suara yang sangat keras, seperti dari knalpot tidak standar, dapat merusak sel-sel rambut di koklea telinga, yang berujung pada kerusakan permanen pada indera pendengaran atau bahkan tuli [3][4].
3. Gangguan Psikologis: Kebisingan yang mengganggu juga dapat menyebabkan gangguan tidur, sulit berkonsentrasi, kecemasan, dan mudah marah. Di

lingkungan pendidikan, hal ini sangat mengganggu proses belajar mengajar[3][4].

3. Jarak Efektif Suara Knalpot Tidak standar

Suara knalpot tidak standar memiliki intensitas tinggi yang membuatnya dapat terdengar jelas dari jarak yang signifikan, bahkan di lingkungan yang relatif tenang. Suara knalpot tidak standar terdengar jelas dalam jarak 10-20 meter di lingkungan yang relatif tenang. Ini berarti suara tersebut dapat dengan mudah menembus ruang kelas, perpustakaan, atau area perkuliahan di sebuah kampus. Intensitas suara ini secara langsung mengganggu konsentrasi mahasiswa dan dosen, serta mengganggu proses diskusi dan presentasi di dalam kelas, sehingga secara signifikan menurunkan kualitas kegiatan akademik [5].

4. Peningkatan Emisi Gas Berbahaya

Selain polusi suara, penggunaan knalpot tidak standar juga berkaitan erat dengan masalah polusi udara. Modifikasi knalpot seringkali menghilangkan *catalytic converter* yang berfungsi untuk mengurangi emisi gas beracun. Penelitian seperti "*The Effect of Using Copper Catalytic Converter Antasari Evo I Urban Car*" menunjukkan bahwa penggunaan *catalytic converter* sangat efektif dalam mengurangi emisi gas berbahaya. Dengan tidak adanya katalis pada knalpot tidak standar, terjadi peningkatan signifikan emisi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan karbon dioksida (CO₂). Gas-gas ini tidak hanya berkontribusi pada polusi udara dan efek rumah kaca, tetapi juga berbahaya bagi kesehatan pernapasan[6].

5. Getaran yang dihasilkan knalpot tidak standar

Setiap desain *silincer* pada knalpot memiliki frekuensi alami tertentu yang dapat berinteraksi dengan frekuensi getaran mesin. Apabila frekuensi alami *silincer* mendekati frekuensi getaran mesin, maka terjadi fenomena resonansi yang menyebabkan peningkatan getaran secara signifikan. *Silincer* pada knalpot standar didesain dengan peredam dan struktur tertentu supaya frekuensi alami komponen tidak berdekatan dengan frekuensi getaran mesin agar resonansi tidak terjadi. Namun pada knalpot tidak standar, peredam suara biasanya dihilangkan atau diganti dengan pipa lurus. Perubahan ini mengurangi redaman serta mengubah geometri

silencer. Kondisi ini berpotensi menurunkan kenyamanan berkendara serta mempercepat kerusakan komponen. Temuan tersebut relevan terhadap penggunaan knalpot brong, karena modifikasi struktur dan ketiadaan peredam standar dapat mengubah frekuensi alami *silencer* sehingga memicu getaran berlebih pada kendaraan[7].

Untuk memperkuat analisis mengenai permasalahan penggunaan knalpot tidak standar di lingkungan kampus, dilakukan survei dilakukan dengan memberi formulir pertanyaan kepada kepada 41 responden mahasiswa [Lampiran 1].

Tabel 1.1 Daftar Pertanyaan dalam Survei Knalpot Tidak standar

No	Pertanyaan
1	Apakah Anda menyadari bahwa knalpot tidak standar menghasilkan suara yang melebihi batas kebisingan?
2	Menurut Anda, apakah suara knalpot tidak standar mengganggu orang lain di lingkungan kampus?
3	Bagaimana pandangan Anda terhadap aturan kampus yang melarang penggunaan knalpot tidak standar?
4	Apakah Anda pernah melihat tindakan sanksi karena menggunakan knalpot tidak standar di kampus?
5	Apakah tindakan sanksi karena menggunakan knalpot tidak standar di kampus sudah cukup tegas?

6	Jika ada sistem deteksi otomatis (sensor/kamera) untuk mencegah kendaraan berkmalpot tidak standar di kampus, bagaimana sikap Anda?
7	Menurut Anda, apa solusi terbaik untuk mengurangi penggunaan kmlpot tidak standar di area kampus?

Berdasarkan hasil survei yang dilakukan terhadap 41 responden, diperoleh temuan penting terkait permasalahan penggunaan kmlpot tidak standar di lingkungan kampus. Sebagian besar responden, yaitu sebesar 95,1%, menyadari bahwa suara kmlpot tidak standar menghasilkan kebisingan yang melebihi batas wajar, sementara hanya 4,9% yang menyatakan tidak menyadarinya. Kesadaran ini sejalan dengan dampak yang dirasakan, di mana mayoritas responden menganggap suara kmlpot tidak standar mengganggu kenyamanan. Sebanyak 68,5% responden menilai suara tersebut sangat mengganggu dan 34,1% menyatakan cukup mengganggu, sedangkan hanya sebagian kecil yang merasa tidak terganggu. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan kmlpot tidak standar benar-benar menimbulkan gangguan bagi lingkungan kampus.

Dari sisi aturan, mayoritas responden memberikan dukungan terhadap kebijakan kampus yang melarang penggunaan kmlpot tidak standar. Sebanyak 68,5% menyatakan sangat setuju dan 31,7% setuju dengan aturan tersebut, sementara hanya 7,3% yang tidak setuju. Namun, dalam praktiknya penerapan sanksi dinilai masih lemah. Sebanyak 82,9% responden mengaku tidak pernah melihat adanya penindakan terhadap pelanggaran penggunaan kmlpot tidak standar, dan hanya 17,1% yang pernah melihat sanksi diberikan. Lebih lanjut, 55% responden menilai sanksi yang ada tidak tegas, bahkan 22,6% menilai sangat tidak tegas. Kondisi ini menggambarkan adanya kesenjangan antara aturan yang berlaku dengan implementasi di lapangan.

Menariknya, mayoritas responden mendukung penerapan solusi berbasis teknologi untuk mengatasi masalah ini. Sebanyak 68,3% menyatakan sangat mendukung dan 24,4% mendukung jika kampus menerapkan sistem deteksi otomatis menggunakan

sensor atau kamera untuk mencegah kendaraan berkualpot tidak standar masuk ke lingkungan kampus, sedangkan hanya 7,3% yang menyatakan tidak mendukung. Selain itu, dari jawaban terbuka responden, beberapa solusi yang diusulkan antara lain adalah penegakan sanksi yang lebih tegas, pemberian edukasi dan sosialisasi larangan kepada mahasiswa, serta penerapan peringatan hingga pencabutan hak membawa kendaraan ke dalam kampus.

Secara keseluruhan, hasil survei ini memperlihatkan bahwa mayoritas civitas akademika menyadari dampak negatif knalpot tidak standar, sangat mendukung adanya aturan larangan karena sangat mengganggu terutama dijam aktif perkuliahan dari jam 07.30 WIB hingga 17.40 WIB, namun menilai bahwa sanksi yang diterapkan masih kurang tegas. Dukungan yang tinggi terhadap penerapan sistem deteksi otomatis menjadi dasar penting bagi pengembangan solusi berbasis teknologi dalam upaya menciptakan lingkungan kampus yang lebih nyaman dan kondusif.

1.1.2 Analisis Masalah Dan Konstrain

1. Aspek Ekonomi dalam Konstrain keterjangkauan Harga Sistem

Aspek ekonomi dalam perancangan Sistem Tata Kelola Kampus berfokus pada keterjangkauan biaya pengembangan, implementasi, operasional dan pemeliharaan sistem agar solusi yang dirancang dapat direalisasikan secara berkelanjutan. Perancangan sistem harus menggunakan komponen perangkat keras dengan harga yang relatif terjangkau serta mudah diperoleh di pasaran. Penggunaan mikrokontroler, sensor dan modul komunikasi harus mempertimbangkan keseimbangan antara harga dan kinerja.

Untuk implementasi sistem nantinya, diperhatikan jumlah perangkat yang dipasang harus disesuaikan dengan kebutuhan area pemantauan agar tidak menimbulkan pemborosan anggaran. Penempatan perangkat harus mempertimbangkan cakupan deteksi optimal sehingga jumlah node sensor dapat diminimalkan. Seperti untuk sistem deteksi knalpot tidak standar ditempatkan pada beberapa portal utama

kampus, sistem mitigasi kelelawar ditempatkan pada ruangan auditorium kampus, sistem keamanan kotak amal di tempatkan di masjid atau mushola sekitar kampus, dan untuk sistem pencegahan kasus kekerasan seksual itu digunakan secara wearable oleh civitas akademika. Selain itu sistem juga harus dirancang dengan konsumsi daya listrik yang rendah untuk mengurangi biaya operasional jangka panjang, seperti dengan maksimal daya yang digunakan 9 Watt. Pemilihan teknologi komunikasi juga harus mempertimbangkan efisiensi penggunaan bandwidth serta biaya layanan jaringan. Sistem juga diharapkan mampu bekerja secara otomatis untuk meminimalkan kebutuhan tenaga operasional tambahan.

Selain itu sistem juga harus dirancang agar dapat digunakan oleh civitas akademika tanpa memerlukan perangkat tambahan berbiaya tinggi. Penggunaan aplikasi atau website berbasis smartphone menjadi solusi yang lebih ekonomis karena memanfaatkan perangkat yang sudah dimiliki pengguna, sehingga biaya produksi (*product cost*) untuk satu unit pada masing masing sistem ditargetkan berada pada kisaran maksimal Rp 2.000.000,00 yang mana sudah dipertimbangkan dengan biaya pengadaan perangkat keras, biaya instalasi dan implementasi sistem, biaya operasional serta biaya aksesibilitas pengguna sistem.

- a. Konstrain 1 (biaya) : Total biaya pengadaan dan implementasi untuk satu unit sistem dibatasi maksimal Rp 2.000.000,00. Batasan ini ditetapkan untuk memastikan efisiensi anggaran institusi pendidikan dan memungkinkan pengadaan dalam jumlah banyak sesuai kebutuhan area pemantauan kampus tanpa membebani neraca keuangan operasional tahunan.

2. Aspek Lingkungan dalam Konstrain Lingkungan Penggunaan

Dalam perancangan Sistem Tata Kelola Kampus aspek lingkungan menjadi batasan penting yang harus dipertimbangkan untuk memastikan bahwa implementasi teknologi tidak hanya berjalan efektif, namun juga ramah terhadap lingkungan fisik dan ekosistem kampus. Secara khusus, penggunaan sensor serta perangkat keras lainnya untuk deteksi kebisingan knalpot, mitigasi kelelawar, pengamanan kotak amal dan pencegahan kekerasan seksual harus memperhatikan dampak terhadap

kualitas lingkungan dan makhluk hidup di sekitar kampus. Sistem pemantauan kebisingan knalpot harus dapat memastikan apakah knalpot motor kebisingannya melebihi 55 dB, sehingga ekosistem kampus tidak merasa terganggu.

Selain itu, mitigasi kelelawar dan interaksi manusia -satwa harus dirancang agar tidak merusak habitat alami dan mendukung keberlanjutan keanekaragaman hayati, sejalan dengan prinsip mitigasi konflik manusia-satwa yang menuntut keseimbangan antara kebutuhan manusia dan pelestarian spesies lokal tanpa gangguan berlebihan pada aktivitas biologis mereka. Implementasi pada sistem juga menghadirkan tantangan terhadap konsumsi energi, jejak karbon dan limbah elektronik, oleh karena itu sistem harus mempertimbangkan arsitektur hemat energi, desain perangkat yang efisien, serta strategi pengelolaan siklus hidup perangkat untuk meminimalkan dampak lingkungan dari produksi, penggunaan dan pembuangan komponen elektronik. Dengan demikian, batasan lingkungan ini tidak hanya memastikan teknologi berfungsi dengan baik, tetapi juga sejalan dengan prinsip keberlanjutan, pelestarian lingkungan kampus serta perlindungan terhadap kesehatan dan keseimbangan ekosistem di dalam dan sekitar kampus.

- b. Konstrain 2 (Sustainabilitas) : Guna mendukung pelestarian lingkungan dari ancaman limbah elektronik. Modul sistem yang ditempatkan di lingkungan terbuka harus dilengkapi dengan *casing* yang *waterproof* agar komponen di dalamnya tidak rentan mengalami korosi atau korsleting akibat hujan dan kelembapan tinggi. Selain itu, sistem yang bersifat *mobile* seperti perangkat *wearable* wajib menggunakan baterai yang dapat diisi ulang, dan rancangan perangkat keras (PCB) sebaiknya dibuat modular agar perbaikan dapat difokuskan pada komponen yang rusak tanpa perlu membuang keseluruhan unit alat serta hal tersebut juga sejalan dengan konsep sustainabilitas pada pengurangan limbah elektronik yang semakin marak pada saat ini.

3. Aspek Keberlanjutan dalam Konstrain Jangka Pengoperasian Sistem

Aspek keberlanjutan dalam konstrain jangka pengoperasian sistem menekankan pada kemampuan Sistem Tata Kelola Kampus untuk beroperasi secara stabil, andal dan berkesinambungan dalam periode penggunaan yang panjang. Sistem yang dirancang tidak hanya berfungsi dengan baik pada tahap implementasi awal, tetapi juga harus mampu mempertahankan performa operasionalnya meskipun terjadi perubahan kondisi lingkungan, intensitas penggunaan serta perkembangan teknologi.

Dalam konstrain jangka pengoperasian, sistem harus menggunakan perangkat keras yang memiliki ketahanan terhadap kondisi lingkungan kampus seperti perubahan suhu, kelembaban, debu serta gangguan sehari-hari. Selain itu, perangkat harus memiliki umur pakai yang cukup panjang untuk mengurangi frekuensi penggantian komponen yang dapat mengganggu kontinuitas sistem. Sistem juga perlu dilengkapi dengan mekanisme pemantauan kondisi perangkat dan deteksi kesalahan agar gangguan operasional dapat diidentifikasi dan ditangani lebih cepat.

Konstrain jangka pengoperasian juga mencakup efisiensi penggunaan energi, dimana sistem harus dirancang dengan konsumsi daya yang rendah agar dapat beroperasi secara terus-menerus tanpa menimbulkan beban operasional yang tinggi. Penggunaan manajemen daya seperti model hemat energi dan optimasi data menjadi batasan penting dalam menjaga keberlanjutan operasional sistem.

Selain itu, sistem harus dirancang dengan arsitektur yang fleksibel dan modular sehingga memungkinkan pemeliharaan, perbaikan serta pengembangan sistem tanpa menghentikan keseluruhan operasional. Hal ini penting untuk memastikan sistem tetap relevan terhadap kebutuhan pengguna dalam jangka panjang. Dengan adanya batasan tersebut, sistem tata kelola kampus diharapkan mampu memberikan layanan pemantauan dan keamanan lingkungan secara berkelanjutan, efektif serta adaptif terhadap perubahan kondisi operasional di masa mendatang.

- c. konstrain 3 (Power Efficient) : Sistem dirancang dengan konsumsi daya kelistrikan yang efisien untuk menjamin operasional jangka panjang tanpa membebani biaya operasional. Pada perangkat stasioner (node deteksi knalpot, modul mitigasi kelelawar, dan pengaman kotak amal), konsumsi daya maksimal dibatasi ≤ 50 watt per unit melalui penerapan arsitektur *event-driven*, transisi otomatis ke mode *sleep* saat tidak ada pemicu deteksi. Sementara itu, untuk perangkat *wearable* (pencegahan kekerasan seksual), sistem wajib menggunakan baterai isi ulang (*rechargeable*) dengan efisiensi daya yang mampu memberikan waktu operasional minimal 8 hingga 12 jam dalam satu kali pengisian penuh, guna memastikan perlindungan pengguna tetap aktif selama durasi kegiatan akademis harian tanpa interupsi.

4. Aspek Manufakturabilitas dalam Konstrain Produksi Sistem

Aspek manufakturabilitas dalam konstrain produksi sistem menekankan pada batasan perancangan agar sistem yang dikembangkan dapat diproduksi, dirakit dan direalisasikan secara teknis dengan proses yang efisien dan realistis. Konstrain ini bertujuan untuk memastikan bahwa desain sistem tidak hanya berfungsi secara teoritis, tetapi juga dapat diwujudkan menggunakan metode produksi yang tersedia, dengan mempertimbangkan kemudahan perakitan, ketersediaan komponen serta efisiensi waktu dan biaya produksi.

Dalam konstrain produksi, sistem harus dirancang menggunakan komponen perangkat keras yang mudah diperoleh di pasaran dan memiliki standar spesifikasi yang jelas. Pemilihan komponen harus mempertimbangkan kompatibilitas antar perangkat sehingga proses integrasi sistem dapat dilakukan tanpa memerlukan modifikasi yang kompleks. Selain itu, desain fisik perangkat seperti casing, tata letak rangkaian elektronik dan sistem pemasangan harus mendukung kemudahan proses produksi serta mengurangi potensi kesalahan perakitan.

Selain itu, sistem harus dirancang agar memungkinkan proses pengujian dan kontrol kualitas secara mudah. Hal ini penting untuk memastikan setiap perangkat

yang diproduksi memiliki performa yang konsisten dan memenuhi standar operasional sistem. Dengan adanya batasan tersebut, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat diproduksi secara berulang, memiliki kualitas yang seragam, serta mendukung implementasi sistem secara lebih luas di lingkungan kampus.

- d. Konstrain 4 (Produksi Sistem) : Perancangan perangkat keras wajib menggunakan komponen yang tersedia secara luas di pasaran (seperti mikrokontroler standar, modul sensor *plug-and-play*, dan modul komunikasi umum) untuk menghindari kebutuhan modifikasi fabrikasi khusus yang memakan waktu dan biaya. Desain tata letak rangkaian harus diimplementasikan pada *Printed Circuit Board* (PCB) cetak ber standar, dipadukan dengan *casing* pelindung (baik menggunakan *3D printing* maupun kotak utilitas standar) yang mendukung sistem pemasangan sederhana. Selain itu, arsitektur perangkat keras harus menyertakan antarmuka pengujian atau titik uji yang mudah diakses guna memfasilitasi proses kalibrasi sensor dan kontrol kualitas secara cepat sebelum sistem diimplementasikan di lingkungan kampus.

5. Aspek Etika dalam Konstrain Privasi Pengguna

Aspek etika dalam konstrain privasi pengguna menekankan pada perlindungan data dan hak individu dalam penggunaan Sistem Tata Kelola Kampus. Sistem yang dirancang harus memastikan bahwa proses pengumpulan, pengolahan, penyimpanan dan distribusi data pengguna dilakukan secara bertanggung jawab serta tidak melanggar hak privasi civitas akademika. Konstrain ini bertujuan untuk mencegah penyalahgunaan data, menjaga kerahasiaan informasi pribadi, serta meningkatkan kepercayaan pengguna terhadap sistem yang dikembangkan.

Dalam penerapannya, sistem harus membatasi jenis data yang dikumpulkan hanya pada data yang benar-benar dibutuhkan untuk mendukung fungsi sistem. Pengumpulan data yang bersifat sensitif harus dihindari atau dilakukan dengan mekanisme perlindungan khusus seperti enkripsi dan data autentikasi pengguna.

Selain itu, sistem harus memastikan bahwa akses terhadap data hanya dapat dilakukan oleh pihak yang memiliki otoritas serta sesuai dengan kebutuhan operasional sistem.

Konstrain privasi pengguna juga mencakup transparansi pengguna data, dimana pengguna harus mengetahui tujuan pengumpulan data serta bagaimana data tersebut digunakan. Sistem harus dirancang agar tidak melakukan pemantauan yang berlebihan yang dapat menimbulkan rasa tidak nyaman atau pelanggaran hak individu. Selain itu, sistem harus menyediakan mekanisme pengamanan data untuk mencegah kebocoran informasi akibat serangan siber atau kesalahan pengelolaan data.

Dalam konteks Sistem Tata Kelola Kampus, aspek etika ini sangat penting terutama pada subsistem yang berkaitan dengan pemantauan lingkungan dan sistem notifikasi darurat. Sistem harus dirancang untuk mendukung keamanan dan keselamatan pengguna tanpa mengurangi kebebasan dan hak privasi individu. Dengan adanya konstrain etika dalam perlindungan privasi pengguna, sistem diharapkan dapat memberikan manfaat secara optimal sekaligus menjaga kepercayaan dan kenyamanan civitas akademika dalam penggunaannya.

- e. Konstrain 5 (Keamanan Data Privasi) : Sistem wajib menerapkan prinsip dimana perekaman dan transmisi data dibatasi secara ketat hanya pada parameter yang esensial untuk memicu fungsi alat, tanpa melakukan pengawasan visual atau audio yang persisten (*non-intrusive surveillance*). Khusus pada subsistem pencegahan kekerasan seksual (*wearable*), transmisi data pelacakan lokasi dan identitas pengguna hanya boleh teraktivasi saat pemicu darurat ditekan, serta wajib diamankan menggunakan protokol enkripsi (seperti TLS/SSL pada transmisi IoT) untuk mencegah intersepsi. Selain itu, seluruh basis data pemantauan di sisi *server*—termasuk log peringatan knalpot dan notifikasi keamanan kotak amal—harus dikelola menggunakan sistem Kontrol Akses Berbasis Peran (*Role-Based Access Control / RBAC*) dan autentikasi berlapis, sehingga informasi log hanya dapat diakses dan dievaluasi oleh pemangku

kepentingan atau otoritas kampus yang berwenang, guna menjamin integritas data dan menghormati hak privasi civitas akademika.

1.1.3 Kebutuhan yang harus dipenuhi

Berdasarkan analisis di atas maka didapatkan beberapa kebutuhan yang harus dipenuhi antara lain:

1. Diperlukan sistem pengawasan terintegrasi fisik dan digital.
2. Sistem harus bisa bekerja secara *real-time* agar mampu mengirimkan notifikasi atau pemberitahuan kepada pengurus/pihak keamanan kampus.
3. Sistem harus terjangkau secara biaya agar dapat diimplementasikan secara nyata dan mudah dalam penggunaannya tanpa harus memerlukan pengetahuan teknis yang rumit.

1.1.4 Tujuan

Berdasarkan analisis masalah dan kebutuhan yang harus dipenuhi maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Merancang sistem pengawasan yang menggabungkan keamanan fisik dengan sistem digital sehingga seluruh aktivitas dan kondisi fasilitas dapat dipantau secara terpusat.
2. Mengimplementasikan sistem yang mampu bekerja secara *real-time* untuk mendeteksi kejadian atau kondisi tertentu dan secara otomatis mengirimkan notifikasi atau peringatan kepada pengurus atau pihak keamanan kampus agar dapat segera ditindaklanjuti.
3. Mengembangkan sistem keamanan yang memiliki biaya implementasi yang terjangkau, mudah dioperasikan oleh pengguna tanpa memerlukan keahlian teknis khusus, serta dapat diterapkan secara nyata di lingkungan kampus.

1.2 Solusi

Berdasarkan permasalahan yang ditemukan di lingkungan kampus seperti penggunaan knalpot yang menimbulkan kebisingan, pencurian kotak amal di

masjid kampus, tindakan pelecehan/kekerasan seksual serta gangguan kelelawar yang mengganggu kebersihan dan kenyamanan auditorium. Maka dibuatlah sebuah sistem berbasis teknologi yang diharapkan mampu menjadi solusi dari permasalahan-permasalahan yang ada di kampus.

1.2.1 Karakteristik Produk

Berdasarkan permasalahan yang telah dijabarkan, alat atau produk yang akan dirancang memiliki berbagai fitur dasar. Fitur dasar merupakan fitur wajib yang perlu dimiliki alat atau produk yang akan dirancang agar performa yang dihasilkan memadai atau sesuai dengan tujuan perancangan. Adapun fitur dasar dari alat yang akan dirancang, antara lain:

A. Fitur Dasar

Pada keempat permasalahan yang diangkat, diperlukan fitur dasar yang berbeda. Fitur dasar menyesuaikan dengan kebutuhan dalam pengimplementasian, sehingga sistem jauh lebih efektif dalam menyelesaikan permasalahan masing-masing.

a. *Sensing Capability*

Deteksi penggunaan knalpot tidak standar menawarkan fitur yang bertujuan untuk mengidentifikasi kendaraan bermotor yang menggunakan knalpot tidak standar secara otomatis. Fitur ini bekerja dengan memanfaatkan sensor dan algoritma komputasi untuk mengenali ciri khas dari knalpot yang tidak sesuai standar.

b. *Computer Performance*

Kinerja komputasi menjadi aspek penting agar sistem mampu menjalankan seluruh proses secara efisien dan stabil. Sistem harus memiliki kemampuan pemrosesan yang tinggi untuk menangani berbagai tugas seperti deteksi, klasifikasi, pengambilan gambar, serta pengiriman notifikasi dalam waktu singkat. Performa komputasi yang optimal memastikan bahwa setiap proses berlangsung tanpa jeda signifikan, sehingga sistem dapat bekerja mendekati waktu nyata (*real time*). Dengan kemampuan ini, alat tidak hanya mampu

mengenali pelanggaran dengan cepat, tetapi juga memberikan dukungan langsung terhadap pengambilan keputusan oleh pihak keamanan di lapangan.

c. *Accuracy*

Fitur ini berfungsi untuk memastikan ketepatan sistem dalam mendeteksi kendaraan yang menggunakan knalpot tidak standar. Aspek akurasi menjadi faktor utama agar sistem mampu membedakan antara suara kendaraan normal dan suara knalpot modifikasi secara konsisten, meskipun terjadi variasi kondisi lingkungan seperti kebisingan sekitar, arah datangnya suara, atau jarak kendaraan dari sensor. Tingkat akurasi yang tinggi menunjukkan bahwa sistem mampu meminimalkan kesalahan deteksi, baik berupa *false positive* (kendaraan normal terdeteksi melanggar) maupun *false negative* (pelanggar tidak terdeteksi). Untuk mencapai hal tersebut, sistem memanfaatkan proses kalibrasi sensor serta algoritma pengolahan sinyal yang disesuaikan dengan karakteristik frekuensi khas knalpot brong. Dengan peningkatan akurasi, hasil deteksi menjadi lebih dapat dipercaya sehingga mendukung efektivitas sistem dalam menegakkan ketertiban dan kenyamanan lingkungan kampus.

d. *Notification Capability*

Sistem dilengkapi dengan mekanisme peringatan otomatis yang akan mengirimkan notifikasi kepada pihak keamanan kampus. Peringatan ini dapat berupa pesan melalui aplikasi mobile, *dashboard website*, atau notifikasi instan lainnya. Dengan adanya fitur ini, petugas keamanan dapat segera mengetahui lokasi serta identitas kendaraan yang terdeteksi menggunakan knalpot tidak standar, sehingga memungkinkan tindakan sanksi dilakukan secara cepat, tepat, dan tanpa menimbulkan kebingungan di lapangan.

e. *Data Management Capability*

Fitur ini berfungsi untuk mencatat dan menyimpan data bukti pelanggaran, seperti waktu kejadian, lokasi, serta dokumentasi visual berupa foto atau

video kendaraan yang terdeteksi menggunakan knalpot tidak standar. Kamera yang terintegrasi dengan sistem akan secara otomatis menangkap gambar dan merekam data pendukung ketika sensor mendeteksi adanya pelanggaran. Dokumentasi visual yang dihasilkan tidak hanya menjadi bukti pendukung yang kuat dalam proses penegakan aturan, tetapi juga berfungsi sebagai arsip data yang dapat ditinjau kembali untuk keperluan evaluasi atau pelaporan. Seluruh data, termasuk foto, video, waktu, dan lokasi kejadian, akan disimpan secara otomatis ke dalam basis data kampus agar dapat dimonitoring, diverifikasi, dan dianalisis secara berkala oleh pihak keamanan.

1.2.2 Usulan Solusi

Berdasarkan karakteristik produk yang telah dijabarkan pada Bagian 1.2.1 dari setiap permasalahan yang diangkat pada Capstone Project berkelompok ini, didapatkan beberapa usulan solusi yang berpotensi untuk memecahkan masalah yang diangkat. Setiap sub-sistem memiliki tiga usulan solusi yang masing-masing akan dijabarkan pada bagian ini.

1.2.2.1 Deteksi motor berknalpot tidak standar menggunakan kamera dengan metode *computer vision*.

Bentuk knalpot standar dan tidak standar memiliki perbedaan bentuk yang signifikan. Pada umumnya knalpot standar memiliki desain yang lebih panjang dengan diameter pipa relatif kecil serta dilengkapi ruang *silencer* bersekat dan material peredam seperti *fiberglass* atau *wool*. Sedangkan knalpot tidak standar atau yang dikenal dengan istilah knalpot brong mempunyai bentuk pipa yang cenderung lebih lurus, pendek, dan berdiameter lebih besar. Bagian *silencer* pada knalpot jenis ini minim sekat bahkan seringkali tanpa peredam suara, sehingga menghasilkan aliran gas buang yang lebih cepat namun disertai tingkat kebisingan yang tinggi [8].

Perbedaan bentuk yang mencolok antara knalpot standar dan tidak standar tersebut dapat dimanfaatkan sebagai dasar dalam proses deteksi menggunakan teknologi

berbasis citra digital. Kendaraan bermotor yang menggunakan knalpot brong dapat diidentifikasi melalui pemanfaatan kamera dengan dukungan metode *computer vision*. Kamera berperan sebagai sensor visual untuk menangkap gambar atau video kendaraan yang melintas, kemudian data visual tersebut dianalisis menggunakan algoritma pengolahan citra. Sistem ini memungkinkan ekstraksi ciri visual seperti Panjang pipa knalpot, bentuk tabung knalpot, panjang knalpot keseluruhan, dan ciri visual lainnya. Dengan pendekatan klasifikasi berbasis citra, kendaraan dengan knalpot yang tidak sesuai standar dapat terdeteksi secara otomatis.

Dalam implementasinya, metode ini dapat memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin, seperti *Support Vector Machine* (SVM) atau jaringan saraf konvolusional *Convolutional Neural Network* (CNN). CNN secara khusus lebih unggul dalam hal mengenali pola visual yang kompleks, sehingga sangat sesuai untuk tugas klasifikasi berbasis gambar[9]. Kamera yang dipasang di area strategis, misalnya pintu gerbang kampus, akan menangkap citra motor yang masuk. Selanjutnya, citra diproses dalam sistem yang telah dilatih sebelumnya untuk mengenali perbedaan antara knalpot standar dan knalpot brong. Dengan demikian, solusi ini memungkinkan sistem pengawasan untuk tidak hanya mendeteksi keberadaan kendaraan, tetapi juga mengidentifikasi apakah kendaraan tersebut sesuai regulasi atau tidak. Untuk menentukan hasil klasifikasi antara knalpot standar dan tidak standar berdasarkan ciri visual yang telah diekstraksi, sistem menggunakan model matematis seperti *Support Vector Machine* (SVM) yang dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$y = \text{sign}[f_0](w \cdot x + b) \quad (1.1)$$

Pada persamaan tersebut, merupakan hasil klasifikasi sistem yang menunjukkan kategori knalpot, di mana nilai y menandakan knalpot tidak standar dan nilai $-y$ menunjukkan knalpot standar. Vektor w merepresentasikan bobot hasil pelatihan model klasifikasi, sedangkan x adalah vektor fitur citra yang diperoleh dari hasil ekstraksi gambar, seperti panjang pipa, diameter, rasio bentuk, dan tekstur permukaan knalpot. Nilai b merupakan bias yang berfungsi untuk menyesuaikan posisi bidang keputusan dalam ruang fitur. Dengan demikian, persamaan ini

digunakan untuk memutuskan secara otomatis apakah citra knalpot yang terdeteksi termasuk kategori standar atau tidak standar berdasarkan ciri visual yang dianalisis oleh sistem.

Kelebihan utama metode ini adalah tidak terpengaruh oleh kebisingan lingkungan dan mampu mendokumentasikan hasil deteksi secara visual. Selain itu, sistem dapat diintegrasikan dengan *Automatic License Plate Recognition* (ALPR) untuk mengenali plat nomor kendaraan pelanggar [10]. Jika sistem mendeteksi knalpot tidak standar, maka kamera secara otomatis menyimpan foto atau video kendaraan sebagai bukti pelanggaran dan mengirimkannya ke pihak keamanan kampus melalui *dashboard monitoring* atau aplikasi notifikasi.

Tingkat akurasi menjadi faktor kunci dalam memastikan keandalan sistem deteksi. Akurasi yang tinggi menunjukkan kemampuan sistem untuk mengenali perbedaan bentuk knalpot secara tepat tanpa menghasilkan kesalahan identifikasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi akurasi antara lain kualitas kamera, resolusi citra, pencahayaan lingkungan, serta variasi bentuk knalpot yang digunakan pengendara. Untuk meningkatkan akurasi, dilakukan proses pelatihan model dengan dataset yang beragam agar sistem mampu mengenali berbagai variasi bentuk knalpot brong. Selain itu, penggunaan metode *data augmentation* seperti rotasi, perubahan kontras, dan pencahayaan sintesis dapat membantu sistem tetap akurat dalam kondisi visual yang bervariasi. Nilai akurasi sistem dapat diukur menggunakan rasio antara jumlah deteksi benar terhadap total jumlah data uji, sehingga performa model dapat dievaluasi dan disempurnakan secara berkala.

Meski demikian, metode ini juga memiliki keterbatasan. Faktor pencahayaan yang tidak memadai, misalnya pada malam hari atau di lokasi yang teduh, dapat menurunkan akurasi sistem. Selain itu, knalpot brong yang dimodifikasi dengan tampilan menyerupai knalpot standar dapat menjadi tantangan bagi algoritma klasifikasi. Untuk mengatasi masalah tersebut, sistem dapat dilengkapi dengan *infrared camera* atau teknologi pencitraan lain yang tidak bergantung sepenuhnya pada cahaya tampak.

Secara keseluruhan, penggunaan kamera dengan metode *computer vision* merupakan solusi yang potensial, terutama jika integrasi dilakukan dengan sistem lain. Misalnya, kamera dapat dipadukan dengan sensor suara untuk memvalidasi hasil deteksi visual. Pendekatan ini dapat menciptakan sistem pengawasan yang lebih komprehensif dan akurat dalam mendeteksi kendaraan dengan knalpot brong di area kampus.

1.2.2.2 Deteksi suara kendaraan berknalpot tidak standar menggunakan sensor suara/microphone dengan metode Fuzzy Logic.

Solusi kedua yang diusulkan adalah deteksi kendaraan berknalpot brong melalui suara khas yang dihasilkan, dengan menggunakan sensor suara atau mikrofon sebagai perangkat utama. Knalpot tidak standar umumnya menghasilkan suara yang lebih keras, kasar, dan memiliki pola frekuensi tertentu yang berbeda dengan knalpot standar[3]. Fenomena inilah yang menjadi dasar dari solusi berbasis akustik. Mikrofon dipasang di lokasi strategis untuk menangkap suara kendaraan yang melintas, kemudian data suara dianalisis untuk mengekstraksi ciri akustik seperti intensitas kebisingan dalam desibel (dB), frekuensi dominan, serta rasio harmonik yang dihasilkan.

Hasil ekstraksi fitur suara tersebut kemudian diproses menggunakan metode fuzzy logic. Metode ini dipilih karena mampu mengakomodasi ketidakpastian data suara. Dalam lingkungan nyata, suara kendaraan tidak selalu konsisten; ada pengaruh kebisingan sekitar, hembusan angin, maupun aktivitas manusia yang bisa menjadi sumber interferensi. Dengan sistem berbasis fuzzy logic, nilai intensitas atau frekuensi suara tidak harus diklasifikasikan secara kaku, melainkan dapat dipetakan ke dalam kategori dengan tingkat keanggotaan tertentu, misalnya "rendah", "sedang", atau "tinggi". Proses inferensi fuzzy kemudian akan menghasilkan keputusan akhir apakah suara tersebut berasal dari knalpot standar atau knalpot tidak standar[11].

Tingkat kebisingan suara kendaraan diukur terlebih dahulu untuk mengetahui apakah suara yang dihasilkan melebihi batas ambang yang ditetapkan. Nilai

kebisingan tersebut dihitung menggunakan persamaan tingkat tekanan suara (*Sound Pressure Level*) sebagai berikut:

$$\text{SPL (dB)} = 20 \log_{10} \frac{P_{\text{rms}}}{P_0} \quad (1.2)$$

Dalam persamaan di atas, atau *Sound Pressure Level* menyatakan tingkat kebisingan yang dihasilkan oleh kendaraan dan diukur dalam satuan desibel (dB). Nilai merupakan tekanan suara efektif yang diperoleh dari hasil pengukuran sinyal suara dalam domain waktu, sedangkan adalah tekanan acuan sebesar 20 mikropascal (Pa) yang digunakan sebagai standar dalam pengukuran kebisingan di udara. Semakin besar nilai SPL yang dihasilkan, semakin tinggi tingkat kebisingan yang ditimbulkan oleh kendaraan, yang dapat mengindikasikan penggunaan knalpot tidak standar.

Faktor akurasi menjadi aspek penting dalam menentukan keberhasilan sistem deteksi berbasis suara ini. Akurasi mencerminkan kemampuan sistem dalam membedakan suara knalpot standar dan tidak standar secara tepat, terutama di lingkungan dengan tingkat kebisingan tinggi. Untuk meningkatkan akurasi, sistem perlu menerapkan *noise filtering* menggunakan metode seperti *Fast Fourier Transform (FFT)* dan *band-pass filter* untuk mengisolasi frekuensi khas knalpot brong. Selain itu, penggunaan beberapa mikrofon secara simultan dapat membantu proses *spatial sound analysis* sehingga sistem dapat menilai arah dan sumber suara secara lebih akurat.

Kelebihan solusi ini terletak pada fleksibilitasnya terhadap kondisi lingkungan. Sistem dapat bekerja efektif meskipun terdapat variasi kebisingan di sekitar lokasi. Selain itu, perangkat kerasnya relatif sederhana dan hemat biaya, hanya memerlukan mikrofon dengan sensitivitas tinggi serta modul pemrosesan sinyal digital. Jika sistem mendeteksi adanya knalpot tidak standar, maka dua aksi utama dilakukan secara bersamaan. Pertama, sistem akan mengirimkan notifikasi otomatis ke pihak keamanan kampus berisi data pelanggaran seperti waktu, lokasi, serta tangkapan kamera berupa foto atau video.

Namun, metode ini juga memiliki keterbatasan. Gangguan kebisingan lingkungan menjadi faktor utama yang dapat mempengaruhi akurasi sistem. Misalnya, suara kendaraan lain, musik dari sekitar, atau aktivitas manusia bisa mengaburkan sinyal suara knalpot. Oleh karena itu, diperlukan strategi tambahan seperti penggunaan *noise filtering* atau pemasangan beberapa mikrofon untuk melakukan analisis spasial suara [12].

Dalam konteks implementasi di lingkungan kampus, metode ini dapat menjadi solusi praktis untuk mendeteksi kebisingan yang ditimbulkan oleh knalpot brong. Sistem dapat dipasang di beberapa titik strategis untuk mengawasi area kampus, dan notifikasi otomatis bisa dikirimkan ke pihak keamanan jika terdeteksi suara kendaraan dengan kebisingan melebihi ambang batas. Dengan demikian, solusi berbasis sensor suara dan fuzzy logic ini dapat mendukung terciptanya lingkungan kampus yang lebih kondusif dan bebas dari gangguan suara berlebihan .

1.2.2.3 Deteksi getaran pada knalpot tidak standar menggunakan sensor getaran dengan metode signal processing

Knalpot brong tidak hanya menghasilkan getaran yang lebih kuat dibandingkan knalpot standar. Hal ini disebabkan oleh modifikasi struktur knalpot yang cenderung tidak memiliki peredam suara (*silencer*) yang baik, sehingga aliran gas buang lebih bebas dan menghasilkan vibrasi yang signifikan.

Fenomena tersebut dapat dijadikan dasar dalam pengembangan sistem deteksi berbasis sensor getaran. Solusi yang diusulkan adalah melakukan deteksi kendaraan berknalpot brong melalui analisis pola getaran yang dihasilkan oleh kendaraan. Dalam implementasinya, sensor getaran seperti akselerometer atau piezoelectric sensor dipasang pada media tertentu, misalnya lantai atau portal masuk kampus. Ketika kendaraan melewati area tersebut, sensor akan merekam data getaran yang ditimbulkan. Data getaran kemudian diproses menggunakan metode *signal processing*. Teknik seperti *Fast Fourier Transform* (FFT) dapat digunakan untuk memetakan sinyal getaran dari domain waktu ke domain frekuensi, sehingga pola frekuensi khas dari knalpot brong dapat diidentifikasi [13.]. Analisis terhadap getaran dilakukan untuk mengukur besar energi getaran yang dihasilkan kendaraan

saat melintas. Intensitas getaran tersebut dihitung menggunakan nilai akar rata-rata kuadrat sinyal, yang dapat dituliskan dengan persamaan:

$$x_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x(t)^2 dt} \quad (1.3)$$

Pada persamaan tersebut, menunjukkan nilai akar rata-rata kuadrat dari sinyal getaran yang diukur selama interval waktu tertentu. Sinyal menggambarkan besarnya getaran kendaraan terhadap waktu, sedangkan T adalah durasi total pengukuran sinyal tersebut. Nilai x_{rms} digunakan untuk menentukan intensitas getaran yang dihasilkan kendaraan. Knalpot tidak standar umumnya menghasilkan nilai yang lebih tinggi karena karakteristik getarannya lebih kuat dibandingkan knalpot standar, sehingga parameter ini dapat dijadikan indikator dalam proses deteksi otomatis.

Akurasi merupakan faktor penting dalam sistem deteksi kendaraan berknalpot tidak standar karena menentukan tingkat keandalan hasil identifikasi. Salah satu pendekatan yang dapat meningkatkan akurasi sistem adalah dengan menganalisis pola getaran yang dihasilkan oleh kendaraan saat melintas. Knalpot brong memiliki karakteristik getaran yang lebih kuat dibandingkan dengan knalpot standar, disebabkan oleh modifikasi struktur knalpot yang tidak memiliki peredam suara yang efektif. Akibatnya, aliran gas buang menjadi lebih bebas dan menimbulkan vibrasi yang signifikan.

Kelebihan utama metode ini adalah stabilitasnya terhadap faktor eksternal. Sistem tidak terpengaruh oleh kondisi pencahayaan atau kebisingan suara di sekitar, serta mampu bekerja secara *real time* dengan tingkat keterlambatan yang rendah. Sensor getaran juga dapat digunakan pada malam hari atau kondisi cuaca ekstrem tanpa penurunan performa.

Untuk meningkatkan fungsionalitas, sistem akan mengirimkan peringatan otomatis ke petugas keamanan kampus apabila mendeteksi getaran khas dari kendaraan berknalpot tidak standar. Peringatan tersebut dapat berupa notifikasi di *dashboard*

pemantauan disertai data hasil analisis getaran dan bukti foto atau video kendaraan pelanggar.

Meski demikian, terdapat beberapa tantangan dalam penerapannya. Penempatan sensor menjadi faktor penting agar getaran dari kendaraan benar-benar dapat ditangkap dengan baik. Jika sensor dipasang di lokasi yang kurang tepat, misalnya di permukaan yang terlalu kaku atau jauh dari jalur kendaraan, sensitivitas sistem akan menurun. Selain itu, getaran yang ditimbulkan oleh kendaraan besar seperti truk atau bus juga bisa menjadi gangguan yang mempengaruhi akurasi deteksi. Untuk mengatasi hal ini, sistem dapat dilengkapi dengan algoritma pemisahan sinyal (*signal separation*) yang mampu membedakan pola getaran dari jenis kendaraan berbeda.

Dalam konteks kampus, solusi ini dapat diintegrasikan dengan sistem keamanan di portal kampus. Setiap kendaraan yang melintas akan secara otomatis diperiksa melalui sensor getaran, dan jika terdeteksi pola khas knalpot brong, maka sistem dapat memberikan peringatan kepada petugas. Dengan kelebihan dalam hal stabilitas deteksi dan kemampuan bekerja *real time*, metode berbasis sensor getaran dan *signal processing* ini berpotensi menjadi salah satu solusi paling efektif dalam menekan penggunaan knalpot brong di area kampus.

1.2.3 Analisis Usulan Solusi

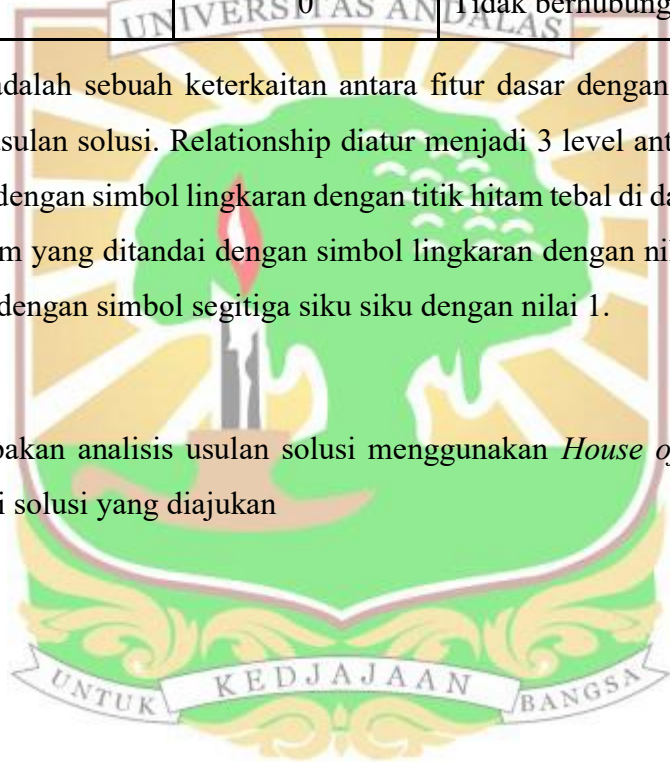
Berdasarkan usulan solusi yang telah ditawarkan sebelumnya pada masing-masing permasalahan, perlu dilakukan analisis untuk menentukan solusi yang akan dipilih untuk menyelesaikan kedua permasalahan ini. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode *House Of Quality* untuk membandingkan setiap solusi yang ditawarkan berdasarkan parameter yang telah ditentukan, yaitu fitur dasar dan fitur tambahan, yang telah dijelaskan pada bagian 1.2.1. Dalam menjelaskan hubungan dari *House of Quality*, digunakan parameter yang dijelaskan pada Tabel 1.5 berikut.

Tabel 1.2 Keterangan Hubungan Simbol HoQ

Simbol	Nilai	Hubungan
●	5	Berhubungan erat
○	3	Berhubungan normal
△	1	Berhubungan jauh
Kosong	0	Tidak berhubungan

Relationship adalah sebuah keterkaitan antara fitur dasar dengan fitur tambahan tentang nilai usulan solusi. Relationship diatur menjadi 3 level antara lain: Strong yang ditandai dengan simbol lingkaran dengan titik hitam tebal di dalamnya dengan nilai 5, Medium yang ditandai dengan simbol lingkaran dengan nilai 3, dan Weak yang ditandai dengan simbol segitiga siku siku dengan nilai 1.

Berikut merupakan analisis usulan solusi menggunakan *House of Quality* untuk kebutuhan dari solusi yang diajukan



Tabel 1.3 *House Of Quality* Sub-Sistem Deteksi Knalpot Tidak Standar

		Customer Importance Rating (1=Low, 5=High)	Percent of Customer Importance Rating	▲	▲	▲	▲	▲
				Sensing Capability	Computing Methode	Accuracy	Notification Capability	Data Management Capability
Konstrain Jangka Pengoperasian Sistem	5	21.7%	●	●	○	●	●	●
Konstrain Keterjangkauan Harga Sistem	3	13.0%	●	○	△	○	○	○
Konstrain Lingkungan Penggunaan	5	21.7%	●	○	△	○	○	△
Konstrain Produksi Sistem	5	21.7%	●	●	○	○	○	△
Konstrain Privasi Pengguna	5	21.7%	○	●	●	●	●	●
Importance Rating			105	99	63	89	69	425
Percentage Rating			24.7%	23.2%	14.8%	21.0%	16%	100%
Solusi 1			○	○	○	●	●	3.73
Solusi 2			●	●	●	○	○	4.24
Solusi 3			○	●	●	○	○	3.74

Pada Tabel 1.3 diperlihatkan hasil analisis *House of Quality* (HoQ) yang menggambarkan hubungan antara fitur dasar dan fitur tambahan yang telah ditetapkan sebelumnya. Setiap hubungan direpresentasikan dengan simbol yang menunjukkan tingkat kekuatan hubungan, yaitu kuat (5), sedang (3), dan lemah (1), sesuai dengan kebutuhan sistem deteksi kendaraan berknalpot tidak standar di lingkungan kampus.

Fitur *Sensing Capability* memiliki hubungan kuat dengan konstrain jangka pengoperasian sistem dan lingkungan penggunaan. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan sensor dalam menangkap sinyal menjadi faktor utama agar sistem dapat bekerja secara konsisten dalam jangka waktu yang panjang serta tetap berfungsi pada kondisi lingkungan yang beragam. Hubungan sedang juga terlihat pada konstrain keterjangkauan harga dan produksi sistem, karena kualitas sensor yang tinggi biasanya berbanding lurus dengan biaya pengadaan dan kompleksitas

produksi. Oleh karena itu pemilihan sensor harus mempertimbangkan keseimbangan antara performa deteksi dan efisiensi biaya.

Fitur *Computing Method* berhubungan erat dengan konstrain produksi sistem dan privasi pengguna. Metode komputasi yang digunakan dalam sistem harus mampu mengolah data secara efisien sekaligus menjaga keamanan data yang diproses. Hubungan sedang juga terlihat pada konstrain jangka pengoperasian sistem karena metode pemrosesan data yang stabil akan membantu sistem bekerja secara berkelanjutan tanpa mengalami penurunan performa. Hubungan yang lebih lemah dengan keterjangkauan harga menunjukkan bahwa metode komputasi dapat disesuaikan dengan perangkat keras yang tersedia sehingga tidak selalu menjadi faktor utama dalam biaya sistem.

Fitur *Accuracy* memiliki hubungan kuat dengan konstrain privasi pengguna. Tingkat akurasi yang tinggi sangat penting agar sistem tidak salah mengidentifikasi kendaraan, sehingga dapat menghindari kesalahan penilaian terhadap pengguna yang sebenarnya tidak melakukan pelanggaran. Selain itu fitur ini juga memiliki hubungan sedang dengan konstrain jangka pengoperasian sistem dan produksi sistem, karena tingkat akurasi yang baik membutuhkan proses kalibrasi serta pemrosesan data yang tepat agar sistem tetap konsisten dalam jangka panjang.

Fitur *Notification Capability* berhubungan dengan kemampuan sistem dalam menyampaikan informasi hasil deteksi kepada pihak yang berkepentingan. Hubungan kuat muncul pada konstrain privasi pengguna karena sistem notifikasi harus mampu menyampaikan informasi pelanggaran tanpa melanggar aspek perlindungan data pengguna. Hubungan sedang juga terlihat pada konstrain jangka pengoperasian sistem dan keterjangkauan harga sistem, karena sistem notifikasi yang efisien harus dapat berjalan stabil dengan infrastruktur yang tidak terlalu mahal.

Fitur *Data Management Capability* memiliki hubungan kuat dengan konstrain jangka pengoperasian sistem dan privasi pengguna. Hal ini karena pengelolaan data yang baik memungkinkan sistem menyimpan, mengolah, dan mengamankan informasi pelanggaran secara berkelanjutan. Hubungan sedang juga muncul pada

konstrains keterjangkauan harga serta produksi sistem karena penyimpanan data membutuhkan infrastruktur tambahan yang dapat mempengaruhi biaya dan kompleksitas implementasi sistem.

Berikut merupakan hasil perhitungan *House of Quality* terhadap ketiga solusi yang diusulkan:

Solusi 1

$$(3 \times 24,7\%) + (3 \times 23,2\%) + (3 \times 14,8\%) + (5 \times 21,0\%) + (5 \times 16\%) = 3,73$$

Solusi 2

$$(5 \times 24,7\%) + (5 \times 23,2\%) + (5 \times 14,8\%) + (3 \times 21,0\%) + (3 \times 16\%) = 4,24$$

Solusi 3

$$(3 \times 24,7\%) + (5 \times 23,2\%) + (5 \times 14,8\%) + (3 \times 21,0\%) + (3 \times 16\%) = 3,74$$

Rincian hasil HoQ yang didapatkan dari hubungan kebutuhan sebagai berikut:

Berdasarkan hasil analisis *House of Quality* (HoQ) terhadap tiga usulan solusi yang diajukan, diperoleh gambaran mengenai tingkat efektivitas dan kesesuaian setiap solusi terhadap kebutuhan sistem yang telah didefinisikan. Didapat Hasil dari 3 Solusi tersebut yaitu:

1. Analisa Usulan Solusi 1

Solusi pertama memanfaatkan kamera dan metode *computer vision* untuk mengenali bentuk fisik knalpot brong dari citra kendaraan yang melintas. Berdasarkan hasil HoQ, Hubungan kebutuhan yang paling kuat muncul pada aspek *Data Management Capability* dan *Notification Capability*. Sistem ini sangat efektif dalam mengidentifikasi bentuk fisik knalpot melalui analisis citra digital.

Dari segi keunggulan, sistem berbasis kamera ini mampu mengenali bentuk knalpot dengan akurasi tinggi, terutama ketika kondisi pencahayaan mendukung. Metode *computer vision* memungkinkan sistem untuk membedakan variasi bentuk knalpot

brong dari standar pabrikan, bahkan pada kecepatan kendaraan yang relatif tinggi. Integrasi dengan ALPR (*Automatic License Plate Recognition*) juga memberikan nilai tambah, karena sistem dapat secara otomatis mengidentifikasi pelanggar, merekam bukti visual, dan menyimpan data pelanggaran kedalam basis data keamanan kampus. Hal ini menjadikan solusi ini unggul dalam aspek otomatisasi, dokumentasi bukti, dan efisiensi pemantauan tanpa intervensi manual [14].

Namun kelemahannya terletak pada faktor lingkungan seperti pencahayaan yang rendah, bayangan, atau bentuk knalpot yang dimodifikasi menyerupai standar dapat menurunkan akurasi deteksi. Selain itu biaya pemasangan kamera berkualitas tinggi dan sistem pemrosesan citra cukup besar, sehingga aspek efisiensi biaya dan keandalan lingkungan menjadi tantangan. Secara keseluruhan, solusi ini cocok untuk area pintu masuk kampus dengan pencahayaan cukup karena mampu menghasilkan bukti visual yang kuat, tetapi kurang ideal untuk area dinamis atau kondisi cuaca tidak stabil.

Analisa Usulan Solusi 2

Deteksi kendaraan berknalpot tidak standar menggunakan sensor suara atau mikrofon dengan metode *fuzzy logic*, merupakan pendekatan berbasis akustik yang menilai karakteristik suara kendaraan. Sistem berbasis suara dinilai paling fleksibel karena mampu menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan, tidak bergantung pada pencahayaan, serta dapat bekerja dengan perangkat keras sederhana. Dari hubungan kebutuhan, metode *fuzzy logic* berperan penting dalam mengakomodasi variasi tingkat kebisingan dan gangguan suara sekitar. Dengan kemampuannya memberikan peringatan langsung serta penyimpanan data pelanggaran, solusi ini dianggap paling seimbang antara akurasi, efisiensi, dan kemudahan implementasi. [15][16].

Proses inferensi fuzzy memungkinkan sistem mengambil keputusan secara adaptif terhadap variasi kondisi lingkungan yang dinamis. Kelebihan utama dari solusi ini adalah fleksibilitasnya dalam menghadapi ketidakpastian data suara dan kestabilannya dalam berbagai kondisi cuaca, karena sistem tidak bergantung pada pencahayaan seperti pada metode berbasis kamera. Selain itu, perangkat keras yang

digunakan relatif sederhana, cukup dengan mikrofon berkualitas baik dan modul pemrosesan sinyal, sehingga biaya implementasinya lebih rendah [15]. Solusi ini juga mampu bekerja secara *real time*, memberikan notifikasi langsung kepada pihak keamanan, dan menyimpan data pelanggaran secara otomatis. Berdasarkan hasil analisis HoQ, solusi kedua memiliki nilai tertinggi karena menunjukkan hubungan kuat terhadap hampir seluruh aspek kebutuhan, terutama dalam fitur *accuracy*, *sensing capability* dan *computer performance*. Meskipun demikian, kelemahan metode ini adalah sensitivitasnya terhadap kebisingan lingkungan, misalnya suara kendaraan lain, musik, atau aktivitas manusia di sekitar lokasi sensor. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan penerapan *noise filtering* serta penempatan beberapa mikrofon untuk analisis spasial yang mampu membedakan sumber suara. Secara keseluruhan, solusi kedua dinilai paling optimal dan memiliki tingkat efektivitas tertinggi karena seimbang antara akurasi, kemudahan implementasi, efisiensi biaya, serta kesesuaian terhadap kebutuhan utama sistem deteksi knalpot tidak standar di lingkungan kampus.

3. Analisa Usulan Solusi 3

Deteksi kendaraan berknalpot tidak standar menggunakan sensor getaran dengan metode *signal processing*, merupakan pendekatan yang berfokus pada analisis pola getaran yang dihasilkan oleh kendaraan saat melintas. Hubungan kuat muncul pada aspek *Accuracy* dan *Computer Performance*. Sistem berbasis sensor getaran unggul karena tidak terpengaruh oleh pencahayaan atau kebisingan suara. Sistem ini menggunakan sensor seperti akselerometer atau piezoelektrik yang dipasang di lantai, portal, atau area jalan masuk kampus untuk merekam getaran yang timbul akibat pergerakan kendaraan. Knalpot brong cenderung menghasilkan getaran dengan amplitudo lebih besar dan frekuensi lebih tinggi dibandingkan knalpot standar karena tidak memiliki sistem peredam suara yang baik. Data getaran yang diperoleh diproses menggunakan teknik *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk mengubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi, sehingga pola khas dari getaran knalpot brong dapat diidentifikasi dengan akurat [17.][18.].

Kelebihan utama dari solusi ini adalah kemampuannya bekerja stabil dalam berbagai kondisi lingkungan karena tidak dipengaruhi oleh cahaya maupun kebisingan sekitar. Selain itu, sistem ini memiliki tingkat keterlambatan yang sangat rendah dan dapat mendeteksi kendaraan secara *real time*, menjadikannya efisien dalam pengawasan di pintu masuk kampus. Namun, tantangan utama solusi ini terletak pada penempatan sensor dan sensitivitas terhadap jenis kendaraan. Kendaraan besar seperti truk atau mobil dapat menghasilkan getaran yang serupa dengan knalpot brong sehingga berpotensi menurunkan akurasi deteksi. Diperlukan pula proses kalibrasi yang cermat untuk membedakan pola getaran antar jenis kendaraan. Berdasarkan hasil HoQ, solusi ketiga menunjukkan hubungan kuat *Warning Capability* dan *Computer Performance*. Oleh karena itu, solusi ini dinilai efektif jika digunakan sebagai sistem pendukung yang bekerja bersamaan dengan metode lain seperti deteksi suara, guna memperkuat hasil identifikasi dan meningkatkan keandalan sistem secara keseluruhan.

1.2.4 Solusi Yang Dipilih

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dari solusi yang telah diberikan pada masing-masing sub-sistem, telah didapatkan solusi terbaik yang akan diimplementasikan untuk menyelesaikan masing-masing permasalahan. Lebih lanjut akan dijelaskan pada bagian ini.

1.2.4.1 Solusi yang Dipilih untuk Sub-Sistem Deteksi Knalpot Tidak Standar

Berdasarkan hasil analisis menggunakan metode *House of Quality* (HoQ) terhadap tiga usulan solusi yang diajukan, dapat disimpulkan bahwa solusi terbaik yang paling sesuai untuk diterapkan pada sistem deteksi kendaraan berknalpot tidak standar di lingkungan kampus adalah solusi kedua, yaitu deteksi suara kendaraan menggunakan sensor suara (mikrofon) dengan metode fuzzy logic. Solusi ini memperoleh skor tertinggi dalam analisis HoQ sebesar 4,22 yang menunjukkan bahwa pendekatan ini memiliki tingkat kesesuaian paling tinggi terhadap kebutuhan fungsional sistem yang telah ditetapkan sebelumnya, meliputi kemampuan bekerja secara *real time*, memberikan peringatan langsung, menyimpan bukti pelanggaran, dan mengirimkan notifikasi otomatis kepada pihak keamanan kampus.

Solusi ini menggunakan sensor suara atau mikrofon sebagai perangkat utama untuk menangkap sinyal akustik dari kendaraan yang melintas di area kampus. Data suara yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan metode fuzzy logic yang berfungsi untuk mengklasifikasikan tingkat kebisingan berdasarkan intensitas (dalam satuan desibel) dan komposisi frekuensi. Fuzzy logic dipilih karena mampu menangani ketidakpastian dan variasi data yang terjadi di lingkungan nyata. Dalam konteks ini, sistem tidak memerlukan ambang batas suara yang kaku, tetapi memanfaatkan rentang nilai keanggotaan seperti “rendah”, “sedang”, dan “tinggi”, yang kemudian diproses untuk menghasilkan keputusan apakah suara yang terdeteksi berasal dari knalpot standar atau knalpot brong [19].

Solusi berbasis suara ini memiliki keunggulan dari sisi efisiensi implementasi dan biaya. Perangkat keras yang digunakan relatif sederhana, hanya memerlukan mikrofon berkualitas tinggi yang dihubungkan dengan modul pemrosesan digital. Sistem ini juga lebih mudah dipasang di lingkungan kampus karena tidak memerlukan penyesuaian pencahayaan seperti pada metode kamera berbasis *computer vision*. Sensor akustik cerdas dapat bekerja secara efektif untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan sumber kebisingan kendaraan di jalan raya tanpa mengganggu arus lalu lintas. Hal ini memperkuat bukti bahwa sistem berbasis sensor suara mampu beroperasi dengan stabil dalam kondisi lalu lintas nyata dan lingkungan terbuka seperti area kampus.

Dari sisi performa sistem, solusi ini juga mendukung integrasi dengan fitur tambahan seperti notifikasi multi akses dan integrasi kamera. Setiap hasil deteksi suara yang dikategorikan sebagai knalpot tidak standar dapat dikirimkan secara langsung ke perangkat petugas keamanan kampus melalui jaringan nirkabel, baik dalam bentuk peringatan suara, pesan notifikasi, maupun tampilan pada *dashboard monitoring*. Data hasil deteksi juga dapat disimpan dalam basis data yang berisi informasi waktu, lokasi, dan bukti pelanggaran berupa foto atau video. Dengan demikian, pihak kampus dapat melakukan penelusuran data pelanggaran serta evaluasi statistik penggunaan knalpot tidak standar secara berkala. Proses ini mendukung upaya manajemen kampus dalam menerapkan sistem penegakan aturan

berbasis bukti digital dan meningkatkan efektivitas pengawasan kendaraan.

Jika dibandingkan dengan solusi pertama dan ketiga, metode berbasis sensor suara dan fuzzy logic ini dinilai paling efisien dan realistis untuk diimplementasikan pada tahap awal. Solusi pertama, yaitu *computer vision*, meskipun unggul dalam dokumentasi visual, sangat bergantung pada pencahayaan dan kondisi kamera yang baik. Sementara solusi ketiga berbasis sensor getaran membutuhkan kalibrasi tinggi dan sensitif terhadap jenis permukaan jalan maupun perbedaan bobot kendaraan. Oleh karena itu, solusi berbasis suara menjadi pilihan utama karena memiliki keseimbangan terbaik antara akurasi, biaya, ketahanan lingkungan, dan kemudahan penggunaan.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa solusi deteksi suara menggunakan sensor akustik dan metode fuzzy logic adalah pilihan paling tepat untuk dikembangkan sebagai sistem deteksi knalpot tidak standar di lingkungan kampus Universitas Andalas. Solusi ini sejalan dengan kebutuhan pengguna dan kondisi operasional lapangan, mampu bekerja secara *real time*, dan dapat diperluas untuk integrasi dengan sistem pendukung lain seperti kamera pengawas atau sensor getaran untuk validasi tambahan. Dengan penerapan teknologi ini, diharapkan pihak kampus dapat menciptakan lingkungan belajar yang lebih nyaman, menekan angka pelanggaran penggunaan knalpot tidak standar, serta mendukung penerapan sistem pengawasan berbasis teknologi yang modern, efisien, dan berkelanjutan.