

BAB I

PENDAHULUAN

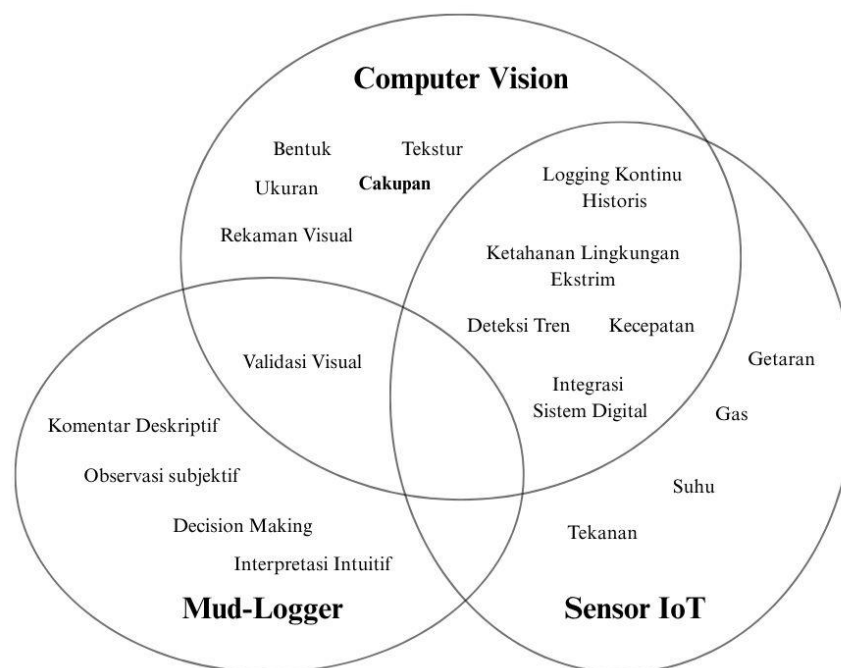
1.1. Latar Belakang

Industri pertambangan dan energi merupakan sektor yang menuntut kegiatan operasional secara intensif selama 24 jam sehari, tujuh hari dalam seminggu. Dalam kegiatan eksplorasi maupun produksi minyak dan gas bumi, proses pengeboran (*drilling*) adalah tahap krusial yang menghubungkan permukaan dengan lapisan hidrokarbon di bawah tanah. Salah satu komponen penting dalam proses ini adalah sistem *drilling fluids*, yaitu fluida sirkulasi yang mengalir dari permukaan ke bawah lubang bor dan kembali membawa serpihan batuan (*cuttings*) ke permukaan, sekaligus mengontrol tekanan formasi, menstabilkan lubang bor, mendinginkan, dan melumasi mata bor serta mentransmisikan energi hidrolik ke alat pengeboran [1].

Sebagaimana dijelaskan oleh Growcock dan Harvey, *drilling fluids* tidak hanya berfungsi secara mekanis dan hidrolis, tetapi juga menjadi media utama untuk membawa informasi dari dasar lubang ke permukaan. Informasi ini sangat berharga karena sulit diperoleh dengan metode lainnya. [1]. *Cuttings return* yang muncul di permukaan melalui *shale shaker* merupakan refleksi langsung dari kondisi dan kinerja proses pengeboran yang sedang berlangsung. Proses pemisahan dan pengelolaan *solids* ini harus berjalan efisien untuk menjaga kestabilan operasi dan kualitas *drilling fluid*, yang jika tidak dilakukan dengan baik dapat menyebabkan risiko seperti penyumbatan, *overpressure*, hingga *downtime* yang tidak direncanakan (*unplanned downtime*) yang berakibat kerugian besar bagi perusahaan [1], [2].

Meskipun pemantauan *shale shaker* merupakan elemen penting dalam *drilling fluids* management, hingga saat ini penggunaan sistem visual berbasis *computer vision* masih tergolong sangat baru. Hal ini didukung oleh laporan uji coba dari AkerBP dan ENI yang menyebut bahwa sistem *digital shaker surveillance* masih berada dalam tahap pilot, dan dikembangkan menyusul tidak ditemukannya

sistem komersial serupa dalam survei teknologi yang mereka lakukan [3][4]. Dalam konteks ini, pendekatan yang paling relevan sebagai pembanding adalah metode pemantauan visual manual dengan laporan litologi yang hingga kini masih umum digunakan di lapangan dan menjadi standar praktik dalam operasional pengeboran. Seperti penjelasan visual pada Gambar 1.1 diagram Venn di atas, masing-masing entitas dalam ekosistem pemantauan seperti *mud logger* manual, sensor IoT, dan *computer vision* yang memiliki kekuatan khasnya sendiri. *Mud logger* unggul dalam aspek interpretasi intuitif dan konteks geologi lapangan, sensor IoT sangat kuat dalam pengukuran numerik seperti tekanan, suhu, dan gas, sementara *computer vision* secara spesifik mendominasi aspek visual seperti bentuk, ukuran, tekstur, serta cakupan material secara *real-time* dan kontinu.



Gambar 1.1 Diagram Venn fokus parameter pengamatan drilling fluids

Untuk parameter seperti cakupan (*coverage*) *cuttings* atau lumpur pada *shale shaker*, yang secara langsung terlihat secara visual dan merepresentasikan volume aliran balik ke permukaan, maka *computer vision* adalah pendekatan yang paling tepat. Cakupan area ini sulit dikalkulasi dengan sensor numerik konvensional dan cenderung terlalu kompleks jika diserahkan sepenuhnya ke interpretasi manusia. Oleh karena itu, untuk urusan visual khususnya dalam memantau luas permukaan

yang tertutupi material di *shale shaker*, penggunaan sistem berbasis *computer vision* seperti EyeLog sangat layak dijadikan andalan dan seharusnya menjadi titik awal integrasi *monitoring* visual berbasis data di lingkungan operasional pengeboran modern [3], [4].

Dalam menghadapi tantangan operasional di lokasi pengeboran terpencil, diterapkan pendekatan *edge computing* pada system pemantauan. Berbeda dengan komputasi terpusat di *cloud*, *edge computing* memproses data di dekat sumbernya, yaitu langsung di *site*, sehingga latensi transmisi dapat ditekan dan ketergantungan pada jaringan internet berkurang. Pendekatan ini juga meningkatkan reliabilitas pemantauan ketika konektivitas terbatas atau tidak stabil, karena data tidak perlu selalu dikirim ke pusat. Selain itu, beban *bandwidth* turun dan risiko jeda komunikasi menyusut, sehingga sistem mampu memberikan respon *real-time* sesuai kebutuhan *mud logger* di lapangan.

Ditambah dengan pendekatan berbasis *computer vision* (visi komputer) tidak sekadar hadir sebagai alternatif, tetapi sebagai tahapan transformasi awal menuju sistem pemantauan visual yang lebih sistematis, objektif, dan berkelanjutan. Teknologi *computer vision* bekerja secara non-kontak dengan menggunakan kamera digital yang mampu menangkap gambar secara kontinu, menghasilkan data visual yang objektif, detail, dan dapat diolah secara *real-time*. Sebagai respons terhadap kebutuhan ini, dikembangkanlah sistem EyeLog yang merupakan aplikasi desktop berbasis Python dengan dukungan pustaka PySide6 dan OpenCV.

EyeLog didesain dengan arsitektur *offline-first* untuk memastikan operasional mandiri. Artinya, hasil pemantauan terekam lokal secara kontinu (CSV di PC site) tanpa bergantung server eksternal. Strategi *offline-first* ini menjamin tidak ada data hilang meski jaringan terputus, semua coverage dan metadata waktu tetap tersimpan di lokasi. Dengan demikian, kontinuitas pemantauan shale shaker tetap terjaga bahkan saat koneksi internet down, dan mud logger dapat tetap memperoleh data historis (*time-series*) lengkap. Konsep IoT-Edge semacam ini sangat sesuai bagi lingkungan rig yang sering minim sinyal: kamera IP mengalirkan video ke *node edge* lokal, lalu diolah *real-time* dan disimpan setempat. Struktur tersebut

memberikan latensi rendah sekaligus keandalan tinggi, menjadikannya solusi optimal untuk kebutuhan pemantauan duratif mud logger. Berikut adalah komparasi obyektif *mud logger* dengan sistem *computer vision* dalam hal pengamatan *drilling fluids* pada *shale shaker*:

Tabel 1.1 Perbandingan solusi pengamatan Mud Logger dan Computer Vision

No	Aspek	<i>Mud Logger Manual</i>	<i>Computer Vision</i>
1	Sifat Pengamatan	Subjektif (berbasis pandangan manusia langsung)	Objektif (berbasis segmentasi area visual)
2	Frekuensi Pengamatan	Umum berupa estimasi verbal	Persentase area terdeteksi secara numerik (%)
3	Konsistensi antar Waktu	Rentan variasi (tergantung pengalaman & persepsi)	Konsisten karena logika algoritma tetap
4	Rekaman Historis	Biasanya tidak tersedia atau berupa catatan deskriptif	Tersimpan otomatis dalam CSV atau <i>database</i> (dapat dianalisis ulang)
5	Deteksi Tren	Tergantung intuisi dan pengalaman operator	Dapat dianalisis melalui grafik atau <i>alert</i>
6	Kepekaan Perubahan	Cenderung rendah	Tinggi (perubahan area 1-2% bisa terdeteksi)
7	Responsivitas terhadap Anomali	Bergantung waktu observasi/ <i>manual checking</i>	Dapat diprogram mengeluarkan <i>alert</i> saat lonjakan
8	Keterlacakan Sumber Data	Terkadang sulit ditelusuri kembali (karena hanya dicatat pada dokumen fisik)	Tinggi – gambar dan angka tersedia (<i>traceable</i>)
9	Kemampuan Integrasi	Terbatas (sulit untuk terdigitalisasi)	Dapat diintegrasikan dengan sistem sensor lain atau analitik <i>software</i>
10	Skalabilitas	Terbatas – satu orang hanya bisa mengamati beberapa titik	Tinggi – bisa pasang banyak kamera, otomatis semua

Disusun berdasarkan analisis teknologi pemantauan industri dari beberapa studi terkait [5], [6].

Meski demikian, sistem EyeLog yang diusulkan dalam penelitian ini tidak diniatkan untuk menjadi solusi tunggal dalam menggantikan peran *mud logger* atau metode manual secara keseluruhan. Sebaliknya, EyeLog dirancang sebagai instrumen penting dalam ekosistem pemantauan operasional industri modern. Peran manusia tetap relevan dalam aspek interpretatif, pengawasan kualitas, maupun pengambilan keputusan. Namun, EyeLog akan memberikan lapisan data tambahan berupa informasi visual yang konsisten, objektif, serta memiliki kemampuan rekam jejak historis yang jelas. Data visual tersebut tidak hanya bermanfaat untuk audit performa operasional, tetapi juga dapat digunakan untuk analitik tingkat lanjut, seperti deteksi dini terhadap potensi anomali operasional di masa depan.

Oleh karena itu, kehadiran sistem seperti EyeLog merupakan langkah awal menuju otomasi *monitoring* visual di sektor industri pertambangan, energi, atau manufaktur lainnya. Penelitian ini akan secara khusus membahas bagaimana sistem EyeLog dirancang dan diimplementasikan untuk memenuhi kebutuhan tersebut secara praktis. Lebih lanjut, penelitian ini juga akan menguji tingkat akurasi, ketahanan operasional, serta keunggulan pendekatan berbasis *computer vision* tersebut dibandingkan metode manual yang ada saat ini.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang yang memuat penjabaran masalah dalam konteks *monitoring* visual industri pertambangan geothermal, maka penelitian ini difokuskan untuk menjawab beberapa pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem pemantauan berbasis *edge* yang merekam dan menganalisis video secara kontinu untuk menghasilkan ringkasan periodik dan tren jangka panjang, sehingga *mud logger* dapat mengidentifikasi kondisi secara otomatis tanpa pemantauan manual?
2. Bagaimana algoritma dan *pipeline* pemrosesan gambar (*image processing*) dapat menghitung cakupan (*coverage*) area material secara konsisten dan memenuhi rentang kebutuhan akurasi pemantauan di lapangan?

3. Bagaimana implementasi mekanisme perekaman data hasil pemantauan secara otomatis ke penyimpanan lokal sehingga data historis mudah diakses oleh pengguna?
4. Bagaimana performa sistem secara teknis dan kesesuaian dengan skenario lapangan?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang, mengembangkan dan menguji sebuah aplikasi desktop berbasis *computer vision*, yang mampu melakukan pemantauan visual secara *real-time* terhadap aliran material di lokasi *rig* pengeboran. Secara lebih spesifik, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mewujudkan *pipeline* pemantauan di *node edge* yang melakukan akuisisi video berkelanjutan, mengekstraksi indikator kunci, menyimpan *time-series* terstruktur, serta menyajikan rekap per interval guna mendukung *keputusan mud logger* tanpa inspeksi manual.
2. Mengimplementasikan metode segmentasi visual otomatis yang mampu menghitung secara akurat cakupan material (persentase *coverage*) di area pemantauan, dengan algoritma seperti background subtraction berbasis Gaussian Mixture (MOG2) serta deteksi kontur berbasis OpenCV.
3. Merancang sistem perekaman otomatis untuk menyimpan data hasil pemantauan secara historis dalam format CSV yang mudah diakses di lokal, sehingga menghasilkan rekaman data objektif dan konsisten untuk analisis lanjutan.
4. Melakukan evaluasi performa sistem dalam simulasi kondisi lapangan, termasuk analisis akurasi deteksi, performa komputasi serta ketahanan tantangan operasional terhadap berbagai kondisi lingkungan, konektivitas jaringan dan penempatan instrumen (seperti kamera) yang mungkin tidak ideal.

1.4. Batasan Penelitian

Untuk memastikan bahwa tujuan penelitian dapat tercapai secara optimal dan realistis, maka ditetapkan batasan ruang lingkup penelitian sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan secara khusus pada skenario penggunaan nyata di lokasi *rig* pengeboran, terutama pada proses *shale shaker* dan pemantauan material lumpur serta serpihan batuan yang kembali ke permukaan (*cuttings return*).
2. Implementasi aplikasi dilakukan sebagai aplikasi desktop standalone berbasis sistem operasi Windows, dengan opsi distribusi dalam bentuk instalasi direktori maupun satu berkas *executable* (*one-file*).
3. Implementasi aplikasi difokuskan utama pada pemrosesan video yang dihasilkan oleh kamera IP melalui protokol RTSP.
4. Metode segmentasi visual menggunakan pendekatan klasik berbasis OpenCV, terutama algoritma MOG2 (*Gaussian Mixture-based Background Subtraction*), dan tidak mencakup pendekatan berbasis *Deep Learning* atau *Neural Network*.
5. Pengujian performa sistem mencakup aspek utama seperti tingkat akurasi deteksi (*coverage area*), evaluasi penggunaan sumber daya komputasi (CPU dan memori), serta stabilitas operasional dalam berbagai kondisi lingkungan umum seperti pencahayaan rendah, debu, dan getaran.
6. Penelitian ini tidak mencakup pengukuran volumetrik 3D dari material, melainkan terbatas pada pengukuran cakupan visual dua dimensi (2D) dalam area yang ditentukan oleh pengguna (*Region of Interest* - ROI).
7. Sistem *logging* historis yang dikembangkan hanya mencakup penyimpanan lokal dalam bentuk file CSV, tanpa sinkronisasi *cloud* atau integrasi dengan sistem eksternal lainnya.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki kontribusi manfaat yang dapat diklasifikasikan menjadi dua aspek utama, yaitu aspek akademis dan aspek praktis.

1.5.1. Manfaat Akademis

Secara akademis, penelitian ini berkontribusi dalam beberapa hal spesifik berikut diantaranya:

1. Menjadi referensi empiris terhadap penggunaan dan performa algoritma-algoritma dalam pustaka OpenCV pada kasus nyata pemantauan objek dinamis, khususnya aliran *cuttings* pada *shale shaker*. Temuan ini dapat memberikan masukan kontekstual bagi pengembangan lanjutan, pengujian ulang, atau evaluasi kestabilan API OpenCV dalam kondisi lapangan yang tidak ideal.
2. Menjadi landasan tinjau balik dan pertimbangan arsitektur bagi studi lanjutan yang ingin mengevaluasi *trade-off* antara pendekatan algoritma pengolahan citra klasik dan metode *deep learning* dalam konteks *monitoring* visual berbasis *real-time*.
3. Berkontribusi pada metodologi desain sistem *monitoring* visual yang modular dan dapat direplikasi.

1.5.2. Manfaat Praktis

Dari sisi praktis, penelitian ini menawarkan manfaat nyata bagi pelaku industri di sektor energi dan pertambangan terkait *monitoring* visual secara otomatis dan konsisten. Beberapa kontribusi praktis di antaranya adalah:

1. Membantu menurunkan potensi *human error* dalam proses pengamatan dan pencatatan, sehingga operator dapat bertindak lebih cepat dan akurat dalam menghadapi perubahan kondisi operasional.
2. Menyediakan data visual yang tersimpan otomatis dan dapat dianalisis ulang, sehingga mendukung evaluasi performa, audit, dan perbaikan berkelanjutan di lingkungan kerja.
3. Menekan biaya implementasi dengan memanfaatkan infrastruktur yang sudah tersedia. Aplikasi dirancang agar dapat berjalan di atas kamera IP standar tanpa perlu sistem tambahan yang kompleks, serta memiliki fleksibilitas untuk disesuaikan dengan kebutuhan operasional di berbagai lokasi.
4. Menjadi fondasi awal dalam upaya digitalisasi *monitoring* visual di sektor pengeboran, dan berkontribusi sebagai bagian dari sistem instrumentasi data

yang terintegrasi, yang nantinya dapat mendukung analitik operasional secara lebih luas dan multidimensional.

1.6. Sistematika penulisan

Untuk merepresentasikan alur logis penelitian ini secara sistematis, laporan ini disusun ke dalam lima bab utama berikut.

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini merupakan bagian pengantar yang berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan dari laporan penelitian yang disusun.

BAB II : KAJIAN PUSTAKA

Bab ini menyajikan kajian teoretis dan studi terdahulu yang relevan dengan penelitian ini. Kajian meliputi konsep dasar *computer vision* pada OpenCV, serta prinsip-prinsip dalam pengembangan antarmuka aplikasi desktop menggunakan PySide6. Selain itu, dilakukan pula tinjauan terhadap pendekatan serupa yang dikembangkan oleh sejumlah perusahaan teknologi energi.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan secara rinci desain arsitektur, pendekatan teknis, serta langkah-langkah implementasi dari aplikasi. Di samping itu, dijelaskan pula metode pengujian kinerja sistem dan metode analisis data hasil pengujian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil implementasi dari sistem serta analisis mendalam terhadap performa sistem dalam skenario riil. Analisis mencakup evaluasi akurasi deteksi material, performa aplikasi dari sisi komputasi, dan pengujian unit serta kestabilan operasional di kondisi lingkungan yang bervariasi. Hasil penelitian akan dibahas secara komprehensif untuk menjawab rumusan masalah yang diajukan.

BAB V : PENUTUP

Bab ini menyajikan kesimpulan utama yang diperoleh dari penelitian ini serta memberikan saran untuk penelitian atau pengembangan lebih lanjut di masa depan, baik dari sisi teknis, implementasi praktis, maupun pengembangan fitur tambahan.