

Pemanfaatan Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) dalam Pembuatan Citra Panorama Rumah Posko KKN

Gusti Ahmad Muttahid Bilhaq

NIM: 442023611097

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Darussalam Gontor

Ponorogo, Indonesia

gustimuttahidbilhaq73@student.cs.unida.gontor.ac.id

Ringkasan—Laporan ini membahas implementasi algoritma Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) untuk aplikasi citra panorama (image stitching). Pengujian dilakukan menggunakan dataset mandiri berupa foto lokasi posko Kuliah Kerja Nyata (KKN). Proses teknis melibatkan ekstraksi fitur, feature matching menggunakan Brute-Force Matcher, dan transformasi perspektif melalui matriks homografi yang diestimasi dengan metode RANSAC. Hasil menunjukkan bahwa SIFT mampu mengenali fitur identik secara akurat meskipun terdapat variasi sudut pandang kamera, menghasilkan gabungan citra yang koheren.

Index Terms—SIFT, Image Stitching, Panorama, Computer Vision, Homografi, RANSAC.

I. INTRODUCTION

Dokumentasi visual pada area terbuka atau lingkungan dengan cakupan luas sering kali memerlukan representasi yang komprehensif untuk menyajikan konteks ruang secara akurat. Kendala yang kerap muncul berkaitan dengan keterbatasan bidang pandang (*field of view*) pada perangkat kamera standar, di mana satu bingkai foto tunggal tidak mampu menangkap seluruh detail lingkungan dalam satu tangkapan utuh. Informasi visual yang terfragmentasi ini mengakibatkan hilangnya kesinambungan spasial, sehingga sulit untuk memberikan gambaran menyeluruh terhadap suatu objek atau lokasi yang memiliki dimensi luas tanpa adanya distorsi informasi.

Teknik *image stitching* atau pembuatan citra panorama hadir sebagai solusi teknis untuk menyatukan beberapa citra yang saling tumpang tindih (*overlapping*) menjadi satu kesatuan proyeksi yang lebih lebar. Pemilihan topik ini didasari oleh kebutuhan untuk menguji ketangguhan algoritma ekstraksi fitur lokal dalam kondisi pengambilan data yang dinamis. Algoritma *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) dipilih sebagai komponen utama karena karakteristiknya yang sangat stabil terhadap perubahan skala dan rotasi. Hal ini krusial mengingat pengambilan gambar secara manual sering kali menghasilkan perbedaan orientasi serta jarak antar citra yang signifikan. Melalui penerapan SIFT, proses pencocokan titik kunci (*keypoints*) diharapkan tetap presisi meskipun terdapat distorsi geometris pada dataset yang digunakan. Implementasi ini menjadi media eksplorasi praktis mengenai sejauh mana

teori deskriptor fitur dapat menangani permasalahan dalam rekonstruksi citra panorama melalui pemrosesan digital yang sistematis.

II. DASAR TEORI

A. Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)

Algoritma *Scale-Invariant Feature Transform* atau yang lebih dikenal sebagai SIFT merupakan metode dalam visi komputer untuk mengekstraksi titik-titik fitur yang menonjol dari sebuah citra. SIFT bukan sekadar detektor tepi biasa, melainkan sebuah sistem pemrosesan lengkap yang mengubah data piksel mentah menjadi kumpulan vektor ciri yang unik. Secara konseptual, algoritma ini bekerja melalui empat tahapan utama, yakni deteksi ekstremum pada skala ruang, lokalisasi titik kunci, penentuan orientasi, serta pembentukan deskriptor fitur.

Tujuan utama dari penggunaan SIFT adalah untuk menghasilkan fitur yang sangat diskriminatif sehingga satu fitur tunggal dapat dicocokkan dengan benar pada basis data fitur yang sangat besar. Proses pencarian fitur ini dilakukan dengan membandingkan citra dalam berbagai tingkat resolusi melalui fungsi *Difference of Gaussian* (DoG). Dengan pendekatan tersebut, sistem dapat mengidentifikasi struktur gambar yang paling stabil untuk digunakan sebagai referensi dalam proses analisis citra lebih lanjut.

B. Keypoint

Keypoint atau titik kunci merupakan lokasi koordinat spesifik pada citra yang dianggap memiliki informasi visual paling penting dan stabil. Pemilihan *keypoint* dalam SIFT sangat selektif karena algoritma ini hanya mencari titik yang kemungkinan besar akan tetap muncul meskipun citra mengalami perubahan sudut pandang atau tingkat kebisingan (*noise*). Biasanya, titik-titik ini ditemukan pada area yang memiliki kontras tinggi atau struktur geometri yang tajam seperti pojok bangunan, tepi objek, atau pola tekstur yang jelas.

Proses penentuan *keypoint* melibatkan penyaringan titik-titik yang dianggap lemah atau memiliki respon tepi yang kurang stabil. Hal ini penting untuk memastikan bahwa sistem tidak

membuang waktu memproses titik yang mudah hilang saat citra diputar atau diperbesar. Dengan hanya menyimpan titik kunci yang benar-benar kuat, komputer memiliki landasan koordinat yang presisi untuk melakukan perbandingan antara dua buah potongan gambar yang berbeda.

C. Descriptor

Setelah lokasi titik kunci ditentukan, tahap berikutnya adalah memberikan identitas visual pada titik tersebut melalui *descriptor*. Jika *keypoint* memberi tahu komputer "di mana" letak fitur tersebut, maka *descriptor* menjelaskan "apa" yang ada di lokasi itu dalam bentuk representasi numerik. SIFT merangkum karakteristik gradien lokal di sekitar titik kunci ke dalam sebuah vektor berdimensi 128. Vektor inilah yang berfungsi sebagai tanda tangan digital bagi setiap fitur unik yang ditemukan pada gambar.

Fungsi utama dari *descriptor* adalah untuk memungkinkan proses pencocokan yang akurat antara dua citra. Dengan membandingkan nilai vektor antara titik-titik kunci, sistem dapat menentukan apakah sebuah objek pada foto pertama adalah objek yang sama pada foto kedua. Karena *descriptor* ini dibuat berdasarkan statistik gradien lokal, ia memiliki daya tahan yang baik terhadap perubahan pencahayaan atau sedikit perubahan pada perspektif kamera.

D. Invariansi Skala dan Rotasi

Salah satu alasan mengapa SIFT menjadi standar yang sangat tangguh adalah sifatnya yang invarian terhadap perubahan skala dan rotasi citra. Invariansi skala dicapai dengan mendekripsi fitur pada berbagai tingkatan resolusi atau yang disebut *scale-space*. Artinya, sistem tetap bisa mengenali sebuah pilar atau jendela bangunan meskipun pada foto pertama objek tersebut terlihat dekat dan pada foto kedua terlihat jauh. SIFT secara otomatis akan memilih skala yang paling sesuai untuk setiap fitur yang dideteksi.

Selain masalah jarak, SIFT menangani perubahan rotasi dengan memberikan arah dominan pada setiap titik kunci berdasarkan arah gradien di sekelilingnya. Dengan menetapkan orientasi referensi ini, seluruh deskripsi fitur akan dihitung relatif terhadap arah tersebut. Kemampuan ini sangat krusial dalam pembuatan citra panorama, di mana pengambilan foto secara manual sering kali menghasilkan posisi kamera yang miring atau tidak sejajar. Berkait stabilitas terhadap skala dan rotasi, proses penyambungan dua citra dapat dilakukan dengan presisi tinggi tanpa terhambat oleh perbedaan sudut pengambilan gambar.

III. METODOLOGI

A. Alur Sistem

Proses pembuatan citra panorama dalam eksperimen ini mengikuti alur kerja visi komputer yang sistematis, dimulai dari akuisisi data hingga tahap akhir rekonstruksi gambar. Secara garis besar, sistem bekerja dengan memproses dua buah citra masukan yang memiliki area tumpang tindih sebagai bahan utama. Tahap awal melibatkan penyiapan data melalui langkah preprocessing agar informasi fitur lebih mudah diekstraksi oleh

algoritma. Setelah citra siap, sistem melakukan ekstraksi fitur lokal menggunakan metode SIFT untuk menemukan titik-titik koordinat unik beserta deskripsi fiturnya masing-masing.

Data fitur dari kedua citra tersebut kemudian diperbandingkan melalui proses matching untuk mencari korelasi spasial atau pasangan titik yang identik. Berdasarkan pasangan fitur yang valid, sistem menghitung hubungan geometris antara kedua citra melalui estimasi matriks homografi. Langkah krusial ini memungkinkan salah satu citra untuk "dileburkan" secara perspektif agar sejajar dengan citra referensi. Tahap terakhir adalah proses stitching atau penggabungan, di mana citra yang telah ditransformasi ditempelkan pada citra dasar di dalam sebuah kanvas besar sehingga menghasilkan pandangan luas yang berkesinambungan tanpa terlihat adanya patahan koordinat yang drastis.

B. Dataset

Dataset yang digunakan dalam laporan ini bersifat primer, yaitu berupa foto digital yang diambil secara langsung di lingkungan sekitar, khususnya pada area bangunan posko. Data terdiri dari dua lembar foto berformat JPEG yang menangkap pemandangan objek dari dua sudut pandang yang berbeda namun tetap berada pada jalur horizontal yang relatif sama. Pengambilan gambar dilakukan menggunakan kamera perangkat seluler dengan resolusi standar tanpa bantuan alat stabilisasi seperti tripod. Akibatnya, terdapat variasi kemiringan kecil dan pergeseran rotasi antar foto yang nantinya akan diuji ketangguhannya melalui algoritma SIFT.

Penulis memastikan adanya area tumpang tindih atau overlap sekitar 40% antara foto pertama dan kedua. Luas area tumpang tindih ini sangat penting guna menyediakan informasi fitur yang cukup bagi sistem untuk menemukan pasangan titik kunci yang identik. Kondisi pencahayaan saat pengambilan data adalah luar ruangan (outdoor) pada siang hari dengan sinar matahari yang cukup terang. Meskipun demikian, terdapat sedikit perbedaan eksposur otomatis antara citra kiri dan citra kanan akibat perpindahan fokus kamera saat pemotretan manual, yang menjadi tantangan tambahan dalam proses blending atau penyatuan warna di tahap akhir nanti.

C. Tahapan Implementasi

Implementasi teknis sistem dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan bantuan pustaka OpenCV sebagai mesin pengolah citra utama. Tahap pertama dimulai dengan pembacaan file citra mentah, yang kemudian langsung dikonversi ke dalam format grayscale. Langkah konversi ini dilakukan karena ekstraksi fitur SIFT bekerja pada intensitas luminansi dan tidak memerlukan informasi warna secara penuh, sehingga dapat mempercepat waktu pemrosesan secara keseluruhan. Setelah citra berada dalam format skala abu-abu, detektor SIFT diinisialisasi untuk mencari lokasi keypoint dan menghitung descriptor pada setiap citra secara simultan.

Hasil dari tahap ekstraksi fitur adalah daftar koordinat titik unik beserta vektor ciri berdimensi 128 yang merepresentasikan identitas visual lokal. Tahap berikutnya adalah feature matching untuk mengaitkan fitur-fitur dari citra pertama dengan

citra kedua. Dalam percobaan ini, penulis menggunakan Brute-Force Matcher yang dikombinasikan dengan Lowe's Ratio Test pada nilai ambang batas 0.75. Penerapan ratio test ini sangat penting untuk membuang pasangan titik yang memiliki tingkat ambiguitas tinggi, sehingga hanya pasangan fitur yang benar-benar koheren yang dipertahankan untuk proses selanjutnya.

Masalah teknis yang sering muncul adalah adanya titik yang salah cocok atau mismatch akibat pola visual yang serupa pada area tekstur yang berulang. Untuk mengatasi hal ini, penulis menerapkan algoritma RANSAC (Random Sample Consensus) saat menghitung matriks homografi menggunakan fungsi `findHomography` dari OpenCV. RANSAC secara otomatis akan memisahkan pasangan titik yang dianggap sebagai pencilan (outliers) dan hanya menggunakan pasangan titik yang konsisten secara geometris untuk membentuk matriks transformasi. Setelah matriks homografi didapatkan, citra kedua ditransformasikan menggunakan fungsi `warpPerspective`. Langkah final adalah menyatukan citra pertama dengan hasil transformasi citra kedua pada satu kanvas koordinat yang sama untuk membentuk hasil panorama yang utuh.

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Deteksi Fitur Lokal

Hasil eksekusi script menunjukkan bahwa algoritma SIFT mampu mendeteksi ribuan titik kunci (keypoints) dari kedua citra posko dengan tingkat detail yang sangat tinggi. Berdasarkan pengamatan pada Gambar 1, persebaran keypoints terlihat tidak merata namun mengikuti pola kepadatan tekstur pada objek. Area yang memiliki kontras tajam seperti garis genteng atap, kusen jendela, serta tekstur pada dinding bangunan posko dipenuhi oleh lingkaran keypoints yang rapat. Sebaliknya, pada area langit yang cenderung polos dan area lantai semen yang memiliki warna seragam, jumlah titik yang terdeteksi jauh lebih sedikit.

Kondisi ini sesuai dengan prinsip kerja SIFT yang mencari ekstremum pada skala ruang berdasarkan gradien intensitas. SIFT sangat sensitif terhadap perubahan detail yang bersifat lokal, sehingga struktur bangunan yang kompleks memberikan banyak informasi fitur yang stabil. Besarnya ukuran lingkaran keypoints yang bervariasi pada visualisasi juga menggambarkan bahwa algoritma berhasil menangkap fitur pada berbagai skala ruang yang berbeda. Hal ini memberikan fondasi yang kuat bagi proses pencocokan karena fitur-fitur pada bagian atap dan jendela kemungkinan besar akan tetap terdeteksi meskipun terdapat sedikit perubahan jarak pemotretan.

B. Pencocokan Fitur (Feature Matching)

Tahap pencocokan fitur menggunakan Brute-Force Matcher menghasilkan garis-garis korespondensi yang secara visual terlihat sangat konsisten dan searah. Sebagian besar garis penghubung pada Gambar 2 menghubungkan titik-titik yang secara logika memang merupakan objek yang sama, seperti sudut jendela kiri pada foto pertama ke sudut jendela yang sama pada foto kedua. Keberhasilan ini tidak lepas dari peran Lowe's Ratio Test yang diterapkan. Dengan menetapkan nilai



Gambar 1. Visualisasi deteksi keypoints pada citra posko.

threshold 0.75, sistem berhasil mengeliminasi banyak pasangan titik yang memiliki kemiripan deskriptor yang ambigu, sehingga mengurangi risiko terjadinya salah pencocokan secara signifikan.

Meskipun hasil secara umum terlihat rapi, penulis tetap menemukan beberapa garis yang saling bersilangan secara tidak wajar pada area tanaman di sekitar posko. Mismatch ini kemungkinan besar disebabkan oleh pola tekstur daun yang berulang dan serupa, sehingga deskriptor fitur SIFT kesulitan membedakan antara daun satu dengan yang lainnya. Namun, keberadaan pencilan atau outliers tersebut tidak sampai mengganggu keseluruhan sistem karena jumlahnya jauh lebih sedikit dibandingkan pasangan fitur yang benar (inliers). Dominasi pasangan titik yang valid pada struktur bangunan utama memastikan bahwa informasi yang akan dikirim ke tahap penghitungan homografi tetap akurat dan representatif terhadap perubahan perspektif yang terjadi.



Gambar 2. Hasil feature matching antara posko bagian kiri dan kanan.

C. Analisis Stitching Panorama

Citra panorama yang dihasilkan pada Gambar 3 menunjukkan tingkat presisi penggabungan yang sangat memuaskan dari sisi geometris. Penulis tidak menemukan adanya efek ghosting atau pergeseran struktur bangunan pada area sambungan, yang menandakan bahwa matriks homografi yang dihitung melalui estimasi RANSAC bekerja dengan sangat akurat. Sudut pandang dari citra kanan berhasil ditransformasikan dengan pas sehingga pilar dan garis lantai menyambung secara kontinu

tanpa ada patahan visual yang mengganggu mata. Hal ini membuktikan ketangguhan SIFT dalam menangani rotasi dan pergeseran skala yang muncul akibat pengambilan foto secara manual tanpa tripod.

Satu kekurangan yang terlihat cukup jelas adalah adanya garis vertikal tipis atau seam pada batas pertemuan kedua citra. Masalah ini bukan disebabkan oleh kegagalan pencocokan fitur, melainkan karena perbedaan pencahayaan (eksposur) otomatis dari kamera perangkat seluler. Foto pertama diambil dengan fokus cahaya yang sedikit berbeda dengan foto kedua, sehingga intensitas warna langit dan dinding pada sambungan tidak benar-benar seragam. Tanpa adanya algoritma pengolahan tambahan seperti multi-band blending, perbedaan transisi warna ini tetap terlihat sebagai garis pembatas. Namun, secara teknis visi komputer, performa SIFT dalam kasus ini sangat efektif karena mampu mempertahankan integritas struktur objek di lokasi KKN yang dinamis hanya melalui dua input citra mentah.



Gambar 3. Hasil akhir panorama posko KKN.

V. PENDAPAT/OPINI PRIBADI

Mengerjakan proyek implementasi SIFT untuk pembuatan citra panorama ini memberikan perspektif yang sangat berbeda bagi saya mengenai bagaimana sebuah mesin "melihat" dunia. Sebelum memulai praktikum ini, jujur saja, saya memiliki anggapan bahwa teknologi penggabungan gambar adalah sesuatu yang sepele, karena setiap perangkat seluler modern sudah memiliki sebagai fitur bawaan hanya dengan sekali usap. Saya sempat berpikir bahwa Computer Vision hanyalah soal memanggil fungsi tertentu di library dan semuanya akan berjalan otomatis secara ajaib tanpa perlu memahami logika di baliknya. Namun, ketika saya harus menyentuh baris kode satu per satu, mulai dari mendeteksi titik hingga menghitung matriks transformasi yang abstrak, saya baru menyadari betapa rumitnya proses di balik layar untuk sekadar menyatukan dua potongan gambar agar terlihat selaras di mata manusia.

Pemahaman saya mengenai konsep SIFT berkembang secara signifikan selama proses trial-error di laptop saya. Awalnya, istilah "invariansi skala dan rotasi" terdengar seperti bahasa pemasaran algoritma yang sangat teoritis dan membosankan. Namun, pemahaman itu menjadi sangat nyata ketika saya mencoba memotret posko tempat saya tinggal dengan tangan gemetar tanpa bantuan tripod sama sekali. Secara teknis, kedua foto yang saya hasilkan memiliki sudut kemiringan yang berbeda dan sedikit perbedaan jarak karena langkah kaki saya yang tidak stabil. Jika saya menggunakan metode pencocokan piksel

sederhana berbasis korelasi silang, sistem pasti akan gagal total karena perbedaan geometri tersebut. Melalui SIFT, saya belajar bahwa komputer tidak peduli dengan warna piksel secara keseluruhan yang bisa berubah karena bayangan, melainkan berfokus pada gradien lokal yang membentuk "sidik jari" unik dari sebuah objek. Saya sangat terkesan melihat bagaimana algoritma ini bisa mengenali bahwa tumpukan bata di sudut atap pada foto pertama adalah benda yang benar-benar sama dengan foto kedua, meskipun posisinya sudah bergeser puluhan piksel dan ukurannya sedikit berubah akibat perspektif.

Selama proses implementasi, saya menghadapi kendala teknis yang cukup membuat frustrasi dan hampir membuat saya menyerah. Kesalahan paling fatal yang saya alami adalah ketika hasil warping pertama kali dijalankan; layar plot saya hanya menampilkan gambar hitam kosong dengan potongan kecil foto di pojok yang tidak berbentuk. Saya menghabiskan waktu untuk melakukan debugging, mengira bahwa ada masalah pada pendekripsi keypoint atau deskriptor saya yang rusak. Setelah membaca kembali dokumentasi OpenCV dan beberapa referensi dari forum pengembang, saya baru menyadari bahwa kesalahan saya terletak pada logika urutan matriks homografi dan pemahaman koordinat kanvas. Saya mencoba memetakan citra kiri ke citra kanan tanpa memperhitungkan bahwa koordinatnya akan terlempar keluar dari batas kanvas yang tersedia karena nilai transformasinya negatif. Solusi yang saya temukan setelah berkali-kali mencoba adalah dengan membalik arah transformasinya, yaitu mengubah citra kanan agar mengikuti perspektif citra kiri dan menempatkan citra kiri secara statis pada posisi dasar (0,0). Pelajaran berharga di sini bagi saya adalah bahwa dalam Computer Vision, pemahaman matematika koordinat jauh lebih penting daripada sekadar menghafal sintaks pemrograman.

Kendala lain yang muncul adalah masalah mismatch fitur yang sangat mengganggu hasil akhir. Pada percobaan awal, saya mencoba menggunakan parameter pencocokan standar tanpa menerapkan Lowe's Ratio Test. Hasilnya sangat kaos; banyak garis penghubung yang saling bersilangan secara acak, bahkan menghubungkan titik di lantai dengan titik di langit hanya karena ada pola tekstur yang dianggap mirip oleh komputer. Di sinilah saya memahami fungsi kritis dari perbandingan jarak deskriptor terdekat. Dengan menerapkan filter rasio 0.75, saya bisa melihat bagaimana sistem secara cerdas membuang pasangan titik yang meragukan. Hal ini menyadarkan saya bahwa dalam dunia nyata, data citra selalu penuh dengan noise dan ambiguitas visual. Tugas kita sebagai pengembang bukan hanya menjalankan algoritma, tetapi juga membangun mekanisme penyaringan yang cerdas agar informasi yang diteruskan ke tahap komputasi selanjutnya tetap valid dan akurat.

Insight terbesar yang saya peroleh adalah adanya perbedaan mencolok antara data eksperimen yang ideal di laboratorium dengan data lapangan yang berantakan. Foto posko yang saya ambil memiliki perbedaan pencahayaan otomatis (auto-exposure) yang cukup kontras antara sisi kiri dan kanan. Hal ini menghasilkan garis sambungan yang terlihat jelas atau yang sering disebut sebagai "seam" pada hasil panorama saya.

Awalnya saya merasa gagal karena hasilnya tidak semulus panorama di aplikasi smartphone yang sering saya gunakan. Namun, setelah saya analisis lebih dalam dari sisi teknis, saya menyadari bahwa SIFT telah melakukan tugas utamanya dengan sempurna, yaitu menjaga integritas geometris struktur bangunan. Masalah transisi warna yang patah adalah domain yang berbeda lagi dalam visi komputer, yaitu image blending atau Laplacian pyramids. Hal ini memberikan pelajaran penting bagi saya bahwa satu algoritma canggih seperti SIFT pun memiliki batasan fungsional dan biasanya harus dikombinasikan dengan teknik pengolahan citra lain untuk mencapai hasil akhir yang benar-benar profesional.

Secara pribadi, saya berpendapat bahwa kelebihan utama SIFT adalah ketangguhannya yang luar biasa terhadap perubahan lingkungan. Saya mencoba memutar salah satu foto posko saya hingga 45 derajat secara manual melalui editor foto, dan SIFT masih mampu menemukan kecocokan fitur dengan akurasi yang hampir sama tanpa perlu kalibrasi ulang. Ini adalah kemampuan yang sangat krusial jika aplikasi ini ingin diterapkan pada perangkat bergerak yang posisinya tidak menentu. Namun, keterbatasannya juga sangat terasa pada beban komputasi yang tinggi. Laptop saya sempat mengalami peningkatan suhu yang cukup terasa dan putaran kipas yang bising saat saya mencoba memproses citra dengan resolusi tinggi. Proses matching memakan waktu beberapa detik, yang menurut saya terlalu lambat jika ingin digunakan untuk aplikasi real-time seperti navigasi robot tanpa optimasi perangkat keras yang mahal. Ini membuat saya berpikir bahwa untuk implementasi praktis di masa depan, mungkin saya harus mempertimbangkan algoritma yang lebih ringan seperti ORB meskipun tingkat akurasinya sedikit di bawah SIFT.

Setelah menyelesaikan proyek ini, cara saya memandang sebuah foto digital telah berubah total. Saya tidak lagi melihat gambar sebagai sekumpulan piksel warna yang diam, tetapi sebagai struktur data dinamis yang kaya akan informasi gradien, orientasi, dan fitur-fitur yang saling berkaitan. Praktikum ini memberikan pelajaran berharga bahwa membangun sebuah sistem cerdas memerlukan ketelitian tingkat tinggi pada setiap tahapannya. Kesalahan kecil pada nilai threshold atau salah menentukan arah transformasi bisa berdampak fatal pada hasil akhir. Pengalaman melakukan debugging di tengah keterbatasan fasilitas saat bertugas di lokasi ini benar-benar menguji kemandirian, kesabaran, dan logika pemecahan masalah saya sebagai mahasiswa informatika. Pada akhirnya, SIFT bagi saya adalah bukti kejeniusan rekayasa fitur yang memungkinkan komputer memiliki persepsi ruang yang lebih "manusiawi" dan konsisten. Pengalaman ini memberikan fondasi yang kuat bagi saya untuk mengeksplorasi lebih jauh dunia visi komputer di masa depan, terutama dalam mengintegrasikannya dengan sistem digitalisasi yang lebih luas.

VI. KESIMPULAN

Implementasi algoritma *Scale-Invariant Feature Transform* (SIFT) dalam proyek pembuatan citra panorama ini telah berhasil membuktikan efektivitas metode deteksi fitur berbasis titik kunci. Melalui serangkaian pengujian pada citra struktur

bangunan, sistem mampu mengekstraksi ribuan *keypoint* stabil dan melakukan pencocokan fitur secara akurat dengan bantuan Brute-Force Matcher dan *Lowe's Ratio Test*. Keberhasilan estimasi matriks homografi melalui algoritma RANSAC memungkinkan transformasi perspektif yang presisi, sehingga potongan citra dapat disatukan menjadi sebuah panorama utuh yang koheren secara geometris tanpa distorsi struktur yang signifikan.

Wawasan utama yang diperoleh dari praktikum ini adalah ketangguhan deskriptor SIFT dalam mempertahankan identitas fitur meskipun citra mengalami perubahan skala, rotasi, maupun pergeseran sudut pandang. SIFT terbukti sangat andal dalam menangani data lapangan yang dinamis karena karakteristik deskriptornya yang sangat diskriminatif terhadap informasi gradien lokal. Hal ini menyimpulkan bahwa algoritma ekstraksi fitur lokal yang *robust* merupakan fondasi utama dalam memecahkan permasalahan rekonstruksi citra digital yang memiliki tantangan geometris yang kompleks.

Untuk pengembangan selanjutnya, sistem ini dapat ditingkatkan dengan mengintegrasikan teknik *multi-band blending* guna menyamarkan garis sambungan akibat perbedaan eksposur Cahaya antar citra. Selain itu, optimasi waktu pemrosesan melalui penggunaan algoritma yang lebih ringan seperti ORB atau implementasi komputasi paralel layak dipertimbangkan untuk kebutuhan aplikasi berbasis *real-time*. Pengujian pada dataset yang lebih bervariasi dengan tingkat pola repetitif yang tinggi juga menjadi saran penting untuk menguji batas kemampuan deskriptor dalam menghindari ambiguitas pencocokan fitur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 60, no. 2, pp. 91–110, 2004.
- [2] R. Szeliski, *Computer Vision: Algorithms and Applications*. Springer Science & Business Media, 2010.
- [3] OpenCV Documentation, "Feature Matching," [Online]. Available: https://docs.opencv.org/4.x/dc/dc3/tutorial_py_matcher.html

PERNYATAAN WAJIB PENGGUNAAN AI

Saya menyatakan bahwa penggunaan Artificial Intelligence (AI) dalam penyusunan laporan dan pengembangan kode pada tugas ini hanya digunakan sebagai alat bantu, seperti untuk memahami sintaks, debugging, atau referensi umum.

Seluruh analisis, pemahaman konsep, interpretasi hasil, dan penulisan penjelasan pribadi merupakan hasil pemikiran dan pekerjaan saya sendiri. Saya bertanggung jawab penuh atas isi laporan ini.