

Laporan Analisis Implementasi Multi-Image Panorama Stitching Menggunakan Metode SIFT

Firlana Umi Azzakiy
Teknik Informatika
Universitas Darussalam Gontor
Mantingan

firlanaumiazzakiy96@student.cs.unida.gontor.ac.id

Abstract— Laporan ini membahas implementasi algoritma Scale-Invariant Feature Transform (SIFT) menggunakan pustaka OpenCV dalam bahasa pemrograman Python. Eksperimen dikembangkan untuk menangani penggabungan tiga citra (*multi-image*) melalui tahapan deteksi keypoint, analisis *scale-space* dengan Difference of Gaussian (DoG), *robust feature matching* menggunakan Lowe's ratio test, hingga estimasi homografi RANSAC untuk membentuk panorama utuh. Hasil eksperimen menunjukkan efektivitas SIFT dalam mengekstraksi fitur yang invarian terhadap skala dan rotasi serta ketangguhan sistem dalam melakukan *iterative stitching*.

Keywords— SIFT, Keypoints, DoG, Feature Matching, RANSAC, Multi-Image Panorama.

I. PENDAHULUAN

Dalam bidang visi komputer dan fotografi digital, salah satu tantangan penting adalah bagaimana menggabungkan beberapa citra yang memiliki area tumpang tindih menjadi satu citra utuh dengan bidang pandang lebih luas. Teknik ini dikenal sebagai panorama stitching. Panorama stitching banyak digunakan pada aplikasi nyata seperti dokumentasi lanskap, pemetaan digital, sistem navigasi visual, hingga virtual tour[1].

Topik Multi-Image Panorama Stitching dipilih karena merupakan salah satu implementasi nyata dari konsep feature-based computer vision. Proses ini tidak hanya melibatkan penggabungan gambar, tetapi juga membutuhkan kemampuan sistem untuk mengenali fitur yang sama pada citra berbeda, meskipun terdapat perubahan sudut pandang kamera, rotasi, maupun skala objek[2].

Dalam proyek ini digunakan algoritma SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) karena SIFT memiliki kemampuan mendeteksi fitur lokal yang stabil dan invarian terhadap transformasi geometris. Selain itu, studi ini dikembangkan lebih lanjut dengan menggabungkan tiga citra sekaligus, sehingga memberikan pemahaman lebih dalam mengenai proses transformasi perspektif, estimasi homography, serta pengelolaan kanvas panorama yang dinamis.

II. DASAR TEORI

A. Scale-Invariant Feature Transform (SIFT)

SIFT adalah algoritma deteksi dan deskripsi fitur lokal yang diperkenalkan oleh David Lowe (2004). Algoritma ini dirancang untuk menghasilkan fitur yang dapat dikenali kembali pada citra lain meskipun mengalami perubahan skala, rotasi, dan perspektif.

Tahapan utama SIFT meliputi:

1. Pembentukan ruang skala (*scale-space*)
2. Deteksi kandidat keypoint melalui Difference of Gaussian
3. Penentuan orientasi dominan
4. Pembentukan descriptor fitur

B. Keypoint

Keypoint adalah titik-titik penting pada citra yang memiliki karakteristik unik, seperti sudut tajam atau pola tekstur tertentu. Keypoint ditemukan dengan mencari ekstrem maksimum/minimum dalam ruang skala menggunakan metode Difference of Gaussian (DoG).

C. Descriptor

Descriptor adalah representasi numerik dari lingkungan sekitar keypoint. Pada SIFT, setiap keypoint direpresentasikan sebagai vektor berdimensi 128, yang menyimpan informasi arah dan kekuatan gradien lokal. Descriptor memungkinkan sistem membedakan fitur satu dengan lainnya secara lebih robust dibandingkan hanya berdasarkan warna piksel.

D. Invariansi Skala

SIFT memiliki kemampuan mengenali fitur yang sama meskipun ukuran objek berubah akibat perbedaan jarak kamera. Hal ini dicapai dengan membangun citra pada berbagai tingkat blur sehingga keypoint dapat dideteksi pada skala yang sesuai. Invariansi Rotasi

E. Invariansi Rotasi

SIFT juga bersifat invariant terhadap rotasi. Setiap keypoint diberi orientasi dominan berdasarkan distribusi gradien, sehingga descriptor tetap konsisten walaupun citra diputar.

III. METODOLOGY

Metodologi yang diterapkan dalam penelitian ini berfokus pada ekstraksi fitur invarian untuk penggabungan citra (*image stitching*). Tahapan implementasi disusun sebagai berikut:

A. Dataset

Dataset terdiri dari tiga citra (Left, Center, Right) yang diambil secara berurutan dengan area *overlap* yang cukup. Citra dikonversi ke skala abu-abu (*grayscale*) untuk mempermudah analisis intensitas gradien pada tahap awal.



Gambar 1. Dataset (Gambar 1)



Gambar 2. Dataset (Gambar 2)



Gambar 3. Dataset (Gambar 3)

Ketiga citra memiliki area overlap berurutan sehingga panorama dapat dibentuk secara bertahap.

B. Tahapan Implementasi Sistem

Pada bagian ini, penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan sistematis untuk memastikan pembentukan panorama yang akurat:

1. Analisis Scale-Space dan Gradien: Tahap awal adalah membangun ruang skala menggunakan *Gaussian Blur* dan menghitung magnitude gradien dengan operator Sobel untuk mendapatkan fitur yang stabil pada berbagai skala[3].
2. Difference of Gaussian (DoG): Melakukan operasi pengurangan antar skala Gaussian untuk mendeteksi kandidat *keypoint* berupa *blob*[2].
3. Deteksi Keypoint SIFT: Menggunakan algoritma SIFT untuk mengekstraksi titik fitur dan memberikan orientasi pada setiap titik berdasarkan gradien lokal.
4. Feature Matching: Mencocokkan deskriptor antar citra menggunakan *BFMatcher* dan menerapkan *Lowe's Ratio Test* untuk menyaring pasangan titik yang paling mirip.
5. Estimasi Homografi dan RANSAC: Menghitung matriks transformasi untuk memetakan koordinat citra dan menggunakan RANSAC untuk mengeliminasi pasangan titik yang salah (*outliers*)[3].
6. Warping dan Stitching: Melakukan transformasi perspektif pada citra dan menggabungkannya ke dalam satu kanvas panorama yang diperluas[4].

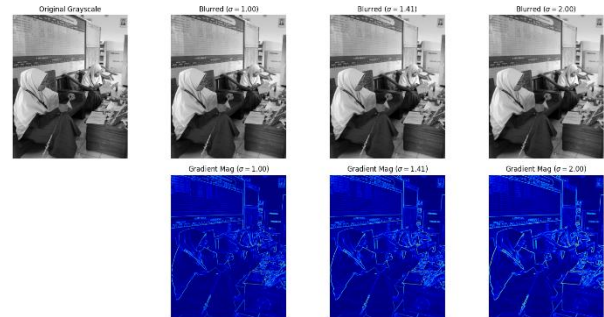
IV. HASIL DAN ANALISIS

Pada bab ini, dilakukan analisis terhadap hasil implementasi algoritma SIFT untuk pembuatan panorama multi-citra. Analisis mencakup stabilitas fitur, akurasi pencocokan, hingga keberhasilan penggabungan citra.

A. Analisis Stabilitas Ruang Skala dan Gradien

Berdasarkan eksperimen pada tahap awal, pembentukan ruang skala terbukti krusial dalam menjaga konsistensi fitur.

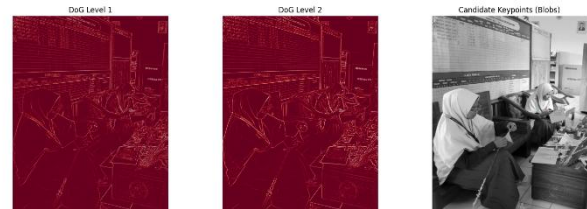
Sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 4, penggunaan variasi nilai σ pada *Gaussian Blur* berhasil menyaring *noise* halus tanpa menghilangkan struktur utama objek. Analisis pada magnitude gradien (Sobel) menunjukkan bahwa meskipun citra mengalami pengaburan, tepi-tepi dominan pada subjek dan latar belakang tetap bertahan. Hal ini membuktikan bahwa fitur yang diekstraksi memiliki stabilitas yang tinggi terhadap perubahan skala dan gangguan visual minor.



Gambar 4. Space Feature Analysis

B. Analisis Deteksi Blob dan Seleksi Keypoint

Tahap deteksi menggunakan *Difference of Gaussian* (DoG) berhasil mengisolasi kandidat fitur yang potensial. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, operasi DoG efektif menonjolkan area *blob* yang merupakan representasi sudut dan detail penting citra.



Gambar 5. DoG

Proses filtrasi pada SIFT kemudian menyempurnakan kandidat tersebut. Berdasarkan Gambar 6, terlihat perbedaan signifikan antara deteksi seluruh *keypoint* dengan 50 *keypoint* paling stabil. Analisis menunjukkan bahwa area dengan tekstur kompleks, seperti detail lipatan pakaian subjek dan pola pada benda di sekitarnya, menghasilkan nilai *response* yang lebih tinggi. Hal ini mengonfirmasi efektivitas SIFT dalam mengenali titik-titik distingtif yang unik dan mengabaikan area homogen yang tidak informatif.

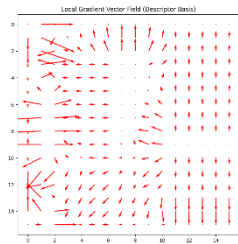


Gambar 6. Keypoint

C. Evaluasi Deskriptor dan Akurasi Feature Matching

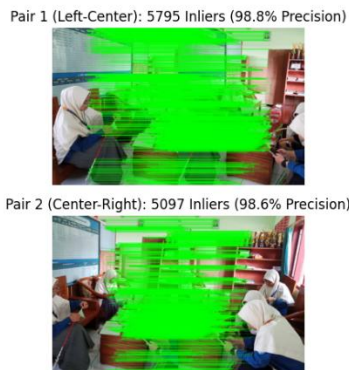
Identitas unik setiap titik fitur ditentukan oleh distribusi gradien lokalnya. Sebagaimana ditampilkan pada Gambar 7,

visualisasi vektor menunjukkan arah dominan dari setiap *keypoint*. Karakteristik ini memastikan bahwa deskriptor tetap konsisten meskipun citra mengalami rotasi.



Gambar 7. Descriptor

Pada tahap pencocokan, penerapan *Lowe's Ratio Test* terbukti sangat selektif dalam membuang pasangan titik yang ambigu. Sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 8, proses *matching* menghasilkan *inliers* yang sangat rapat dan konsisten. Dengan tingkat presisi mencapai lebih dari 98%, algoritma secara efektif mampu mengeliminasi *outliers* (korespondensi salah). Kepadatan garis korespondensi yang sejajar secara horizontal pada visualisasi tersebut menunjukkan bahwa hubungan spasial antar citra telah terjalin dengan sangat akurat.



Gambar 8. Feature Matching

D. Analisis Keberhasilan Stitching Panorama

Tahap akhir penyatuan citra menunjukkan hasil rekonstruksi panorama yang presisi. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 9, sistem berhasil menggabungkan tiga citra menjadi satu kesatuan yang utuh secara bertahap.



Gambar 9. Stitching Panorama

Beberapa poin kunci analisis pada tahap ini meliputi:

- Akurasi Homografi: Penggunaan RANSAC memastikan matriks transformasi dihitung hanya berdasarkan *inliers* terbaik, sehingga sambungan antar citra (citra 1+2 dan hasil+3) terlihat mulus tanpa distorsi geometris.
- Efektivitas Warping: Transformasi perspektif berhasil menyesuaikan sudut pandang citra samping dengan citra referensi tengah.
- Canvas Expansion: Penerapan kanvas yang diperluas secara otomatis terbukti efektif mencegah terjadinya *clipping* atau bagian gambar yang terpotong saat proses penyatuan.

V. PENJELASAN PRIBADI MAHASISWA

Selama mengerjakan proyek ini, saya memahami bahwa SIFT bukan hanya mencari titik fitur biasa, tetapi merupakan proses bertahap yang melibatkan scale-space dengan Gaussian Blur agar fitur tetap stabil pada berbagai skala. Saya juga memahami bahwa Difference of Gaussian (DoG) digunakan untuk menemukan *keypoint* yang khas, lalu descriptor gradien dibentuk sebagai identitas fitur sehingga pencocokan antar gambar tetap akurat meskipun terjadi rotasi atau perubahan ukuran.

Kendala utama yang saya hadapi adalah jumlah *keypoints* yang sangat banyak sehingga *matching* menjadi lambat dan menghasilkan *outliers*. Untuk mengatasinya, saya menerapkan *Lowe's Ratio Test* agar hanya fitur yang paling valid digunakan. Selain itu, saat *warping* panorama sering terjadi *clipping*, sehingga saya menambahkan perhitungan offset dan perluasan kanvas agar hasil *stitching* dapat terlihat utuh.

Sebelum proyek ini, saya mengira panorama *stitching* hanya sekadar menggabungkan gambar secara langsung. Setelah mempelajarinya, saya menyadari bahwa proses ini membutuhkan perhitungan matematis seperti homography dan transformasi perspektif. Saya juga memahami pentingnya RANSAC dalam menyaring pencocokan yang salah agar hasil sambungan lebih presisi.

Menurut saya, kelebihan utama SIFT adalah ketahanannya terhadap perubahan skala dan rotasi, sehingga sangat efektif untuk panorama *stitching*. Namun, SIFT cukup berat secara komputasi dibanding metode lain seperti ORB, dan performanya lebih optimal pada citra yang memiliki tekstur jelas, sementara pada area polos fitur yang ditemukan menjadi terbatas.

VI. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa algoritma SIFT sangat efektif digunakan dalam proses multi-image panorama *stitching* karena mampu mendeteksi dan mencocokkan fitur secara stabil meskipun terdapat perubahan skala, rotasi, dan sudut pandang. Proses pencocokan fitur yang diperkuat dengan *Lowe's Ratio Test* serta estimasi homography menggunakan RANSAC berhasil meningkatkan akurasi sambungan dengan mengurangi *outliers*. Metode *stitching* juga berhasil menggabungkan tiga citra secara utuh melalui *warping* dan perluasan kanvas sehingga panorama tidak terpotong. Pengembangan lanjutan dapat dilakukan dengan

menambahkan teknik blending agar transisi antar gambar lebih halus dan hasil panorama terlihat lebih natural.

VII. DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. A. Buana, A. N. Putri, dan S. Adinugroho, "Optimalisasi Penggunaan Image Stitching dan Seam Carving dalam Pengembangan Tur Virtual Responsif," *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 6, no. 1, pp. 520-532, 2024.
- [2] I. Hasny, Munawir, dan N. Fadillah, "Penggabungan Gambar Panorama Menggunakan Metode Sift (Scale Invariant Feature Transform)," *InfoTekJar: Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*, vol. 4, no. 2, pp. 284-288, 2020.
- [3] E. P. Purwandari, A. Vatesia, dan S. Siburian, "Deteksi Image Splicing pada Citra dengan Metode Discrete Cosine Transform (DCT) dan Scale Invariant Feature Transform (SIFT)," *Jurnal Pseudocode*, vol. 6, no. 2, pp. 110-118, 2019.

- [4] M. S. Ramdhan dan U. A. Rosyidah, "Analisis Penggabungan (Stitching) Foto dan Menampilkan Virtual Tour Panorama 360 Derajat Menggunakan Plug-In Three.js," *Jurnal Teknik Informatika Universitas Muhammadiyah Jember*, 2016.

Github :

https://github.com/blackcatin/Final_Project_SIFT.git

Pernyataan Penggunaan AI

Saya menyatakan bahwa penggunaan AI, termasuk Google Gemini dan ChatGPT (GPT), 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.