

Aplikasi Filter Gambar Domain Frekuensi Menggunakan Transformasi Fourier

Iqbal Maulana
Teknik Informatika
Universitas Darussalam Gontor
Ponorogo, Indonesia
iqbalmaulana88@student.cs.unida.gontor.ac.id

Jauhan Ahmad
Teknik Informatika
Universitas Darussalam Gontor
Ponorogo, Indonesia
jauhanahmad80@student.cs.unida.gontor.ac.id

Ahmad Nugrahadi
Teknik Informatika
Universitas Darussalam Gontor
Ponorogo, Indonesia
ahmadnugrahadi23@student.cs.unida.gontor.ac.id

Fayshal Karan Atthilla
Teknik Informatika
Universitas Darussalam Gontor
Ponorogo, Indonesia
fayshalkaranathilla12@student.cs.unida.gontor.ac.id

Abstrak—Pengolahan citra digital merupakan salah satu bidang yang banyak digunakan dalam penelitian maupun aplikasi praktis. Penelitian ini membahas implementasi aplikasi filter gambar berbasis domain frekuensi menggunakan Transformasi Fourier. Aplikasi dibangun dengan Python menggunakan Tkinter sebagai antarmuka grafis serta OpenCV dan NumPy sebagai pustaka pemrosesan citra. Sistem memungkinkan pengguna memilih gambar, menerapkan filter low-pass untuk efek blur dan high-pass untuk deteksi tepi, serta mengatur radius filter melalui slider. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode ini dapat memvisualisasikan efek filter frekuensi secara interaktif.

Kata kunci—*Transformasi Fourier, Pengolahan Citra, Low-pass Filter, High-pass Filter, Python, Tkinter.*

I. LATAR BELAKANG DAN TUJUAN

Pengolahan citra digital telah menjadi salah satu bidang penelitian yang berkembang pesat dalam dekade terakhir. Perkembangan teknologi komputasi yang semakin cepat memungkinkan penerapan berbagai metode pemrosesan citra dalam beragam bidang, mulai dari kesehatan, keamanan, penginderaan jauh, hingga hiburan digital. Salah satu aspek penting dalam pengolahan citra adalah proses penyaringan (filtering) untuk memperbaiki kualitas citra atau mengekstraksi informasi tertentu.

Secara umum, filtering dapat dilakukan di domain spasial maupun domain frekuensi. Filtering di domain spasial dilakukan dengan operasi konvolusi langsung menggunakan kernel tertentu, seperti Gaussian blur atau Sobel operator. Namun, pendekatan ini memiliki keterbatasan, terutama ketika berhadapan dengan analisis komponen frekuensi citra. Oleh karena itu, filtering di domain frekuensi menjadi alternatif yang lebih sesuai untuk kasus-kasus tertentu, karena memungkinkan manipulasi langsung terhadap spektrum frekuensi citra.

Transformasi Fourier, khususnya Fast Fourier Transform (FFT), merupakan metode yang umum digunakan untuk mengubah citra dari domain spasial ke domain frekuensi. Dengan representasi ini, setiap piksel pada citra dapat dipandang sebagai kombinasi komponen frekuensi yang berbeda. Frekuensi rendah biasanya merepresentasikan informasi global atau struktur besar pada citra, sedangkan frekuensi tinggi berhubungan dengan detail halus dan tepi objek.

Penerapan filter di domain frekuensi umumnya dilakukan dengan cara membangun sebuah mask yang menyeleksi komponen frekuensi tertentu. Dua tipe filter dasar yang sering digunakan adalah:

- Low-pass filter, yang mempertahankan frekuensi rendah sambil menghilangkan frekuensi tinggi, sehingga citra hasil terlihat lebih halus atau blur.

- High-pass filter, yang mempertahankan frekuensi tinggi dan menekan frekuensi rendah, menghasilkan citra yang menonjolkan tepi atau detail tajam.

Motivasi utama penelitian ini adalah memberikan alat pembelajaran interaktif bagi mahasiswa maupun praktisi yang ingin memahami konsep filtering di domain frekuensi. Melalui aplikasi yang dilengkapi antarmuka grafis, pengguna dapat secara langsung mengamati efek dari filter frekuensi terhadap citra asli. Pendekatan visual dan interaktif ini diharapkan dapat mempermudah pemahaman konsep dasar Fourier dan filtering citra.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan mengimplementasikan aplikasi berbasis Python untuk filtering citra menggunakan FFT.
2. Mengintegrasikan antarmuka pengguna grafis (GUI) yang intuitif agar proses pemilihan gambar dan penerapan filter dapat dilakukan dengan mudah.
3. Menyediakan fitur penyesuaian radius filter secara dinamis sehingga pengguna dapat mengeksplorasi pengaruh parameter terhadap hasil citra.
4. Mengevaluasi perbedaan hasil antara low-pass filter dan high-pass filter terhadap citra uji.

Kontribusi utama dari penelitian ini adalah penyediaan sebuah perangkat lunak sederhana, ringan, dan open-source yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran maupun dasar pengembangan lebih lanjut. Dengan pendekatan ini, konsep teoritis pengolahan citra digital dapat dipraktikkan secara langsung, sehingga mendukung pemahaman yang lebih mendalam mengenai hubungan antara domain spasial dan domain frekuensi.

II. METODOLOGI

Aplikasi ini dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan struktur dua komponen utama, yaitu antarmuka pengguna (GUI) dan pemrosesan citra (backend). Pemisahan ini bertujuan untuk memudahkan integrasi antara interaksi pengguna dengan logika pemrosesan gambar.

A. Antarmuka Pengguna (GUI)

Komponen GUI dibangun menggunakan pustaka Tkinter, yang merupakan library standar Python untuk pengembangan aplikasi berbasis desktop. Pada implementasi ini, GUI berfungsi sebagai media interaktif agar pengguna dapat dengan mudah:

- Memilih file gambar dari sistem lokal (format .jpg, .png, .bmp).

- Menentukan jenis filter yang akan digunakan, yaitu low-pass atau high-pass, melalui tombol radio.
- Mengatur radius filter menggunakan slider yang nilainya dapat diubah secara dinamis antara 1 hingga 200 piksel.
- Menampilkan hasil pemrosesan dengan membandingkan citra asli (panel kiri) dan citra hasil filter (panel kanan).

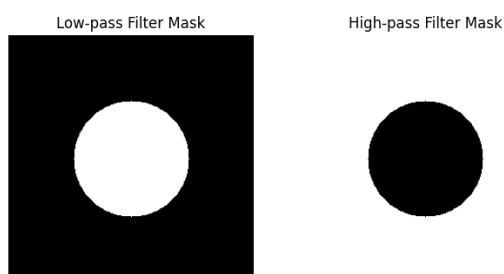
Antarmuka ini dirancang agar sederhana dan intuitif, sehingga pengguna dengan latar belakang non-teknis sekalipun dapat memahami efek filter frekuensi terhadap citra.



B. Pemrosesan Citra (Backend)

Bagian backend merupakan inti dari sistem, yang mengimplementasikan algoritma Transformasi Fourier dan filtering frekuensi. Prosesnya melibatkan beberapa langkah utama:

1. **Pembacaan Gambar**
Gambar yang dipilih oleh pengguna dibaca dalam format grayscale menggunakan OpenCV. Pemrosesan dilakukan pada gambar hitam-putih untuk menyederhanakan perhitungan frekuensi tanpa kehilangan esensi dari efek filter.
2. **Transformasi Fourier**
Gambar diubah dari domain spasial ke domain frekuensi menggunakan Fast Fourier Transform (FFT).
 - Operasi ini menghasilkan representasi kompleks yang memisahkan informasi amplitudo dan fase dari citra.
 - Komponen frekuensi nol (DC component) digeser ke tengah spektrum menggunakan fungsi `fftshift` agar distribusi frekuensi lebih mudah dimanipulasi.
3. **Pembuatan Mask Filter**
Untuk menerapkan filter, sebuah mask berukuran sama dengan citra dibuat:
 - Low-pass filter: mask berupa lingkaran bernilai 1 di pusat spektrum (frekuensi rendah) dan bernilai 0 di luar radius. Mask ini mempertahankan komponen frekuensi rendah sehingga citra menjadi lebih halus.
 - High-pass filter: mask berupa lingkaran bernilai 0 di pusat spektrum, sedangkan area luar bernilai 1. Mask ini menekan frekuensi rendah dan mempertahankan frekuensi tinggi yang berhubungan dengan detail tepi.



4. **Penerapan Filter**
Spektrum hasil FFT dikalikan dengan mask untuk menghilangkan atau mempertahankan komponen frekuensi tertentu sesuai pilihan filter.
5. **Transformasi Fourier Invers**
Setelah filtering, dilakukan Inverse FFT (IFFT) untuk mengembalikan citra ke domain spasial. Proses ini menghasilkan citra nyata yang dapat ditampilkan kepada pengguna. Nilai kompleks yang dihasilkan oleh IFFT diubah menjadi magnitudo dengan fungsi absolut.

C. Alur Sistem

Secara garis besar, alur kerja sistem dapat digambarkan sebagai berikut:

1. **Input:** Pengguna memilih gambar grayscale.
2. **FFT:** Gambar ditransformasi ke domain frekuensi.
3. **Masking:** Filter low-pass atau high-pass dibentuk berdasarkan radius yang ditentukan pengguna.
4. **Filtering:** Mask diterapkan pada spektrum frekuensi.
5. **IFFT:** Hasil filtering dikembalikan ke domain spasial.
6. **Output:** Citra asli dan citra hasil filter ditampilkan berdampingan pada GUI.

Dengan metodologi ini, aplikasi dapat memberikan visualisasi langsung mengenai perbedaan citra asli dan citra yang telah melalui proses filtering di domain frekuensi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Aplikasi yang dibangun berhasil dijalankan pada lingkungan Python 3.11 dengan dukungan pustaka OpenCV, NumPy, dan Pillow. Program dapat menampilkan jendela antarmuka grafis (GUI) menggunakan Tkinter, di mana pengguna dapat dengan mudah memilih file gambar, menentukan jenis filter, serta mengatur radius filter melalui slider.

A. Pemrosesan Citra (Backend)

Antarmuka aplikasi terdiri atas dua bagian utama:

1. **Panel Kontrol** di bagian atas, yang memuat tombol “Pilih Gambar”, pilihan tipe filter (low-pass atau high-pass), slider radius filter, serta tombol “Terapkan Filter”.
2. **Panel Tampilan Gambar** di bagian bawah, terbagi menjadi dua: panel kiri untuk menampilkan citra asli, dan panel kanan untuk menampilkan hasil pemrosesan.

Desain antarmuka yang sederhana ini memudahkan pengguna untuk membandingkan secara langsung antara citra asli dengan citra hasil filtering.

B. Efek Low-Pass Filter

Ketika pengguna memilih opsi Low-pass filter, sistem akan membangun mask berbentuk lingkaran di pusat spektrum frekuensi, yang hanya mempertahankan frekuensi rendah.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Detail halus seperti tekstur atau tepi objek menjadi hilang.
- Citra hasil terlihat lebih kabur (blur).

Informasi global, seperti bentuk besar objek, masih dapat terlihat dengan jelas.

Contohnya, pada citra wajah, efek low-pass membuat detail seperti rambut atau keriput hilang, namun bentuk keseluruhan wajah tetap terlihat.

C. Efek High-Pass Filter

Pada opsi High-pass filter, sistem menekan frekuensi rendah dengan mask lingkaran terbalik (tengah bernilai nol, luar bernilai satu). Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

- Citra hasil didominasi oleh tepi (edges) objek.
- Area yang homogen (seperti permukaan rata) menjadi gelap atau hilang, sedangkan batas antara objek menjadi jelas.
- Efek ini mirip dengan operator deteksi tepi pada domain spasial, namun dilakukan melalui transformasi frekuensi.

Sebagai contoh, pada citra bangunan, kontur jendela, pintu, dan atap terlihat menonjol, sementara dinding rata menjadi redup.

D. Analisis Perbandingan

Perbandingan antara citra asli, hasil low-pass, dan hasil high-pass memberikan gambaran yang jelas mengenai fungsi masing-masing filter. Low-pass cocok digunakan untuk mengurangi noise atau detail tinggi, sementara high-pass efektif untuk ekstraksi fitur berupa tepi. Dengan adanya slider radius filter, pengguna dapat bereksperimen secara interaktif:

- Radius kecil pada low-pass → citra sangat kabur.
- Radius besar pada low-pass → detail masih tampak, blur ringan.
- Radius kecil pada high-pass → hanya tepi tajam yang dipertahankan.
- Radius besar pada high-pass → lebih banyak detail ikut tampil.

Dengan cara ini, aplikasi tidak hanya menunjukkan hasil akhir, tetapi juga berperan sebagai media pembelajaran yang interaktif untuk memahami konsep filtering di domain frekuensi.

E. Analisis Perbandingan

No	Jenis Filter	Radius	Deskripsi Efek Visual
1	Low-Pass	10	Citra menjadi sangat kabur, detail halus hampir hilang
2	Low-Pass	50	Citra cukup halus, detail tekstur mulai berkurang
3	Low-Pass	100	Citra masih relatif jelas, hanya blur ringan
4	High-Pass	10	Hanya tepi paling tajam terlihat, citra tampak tipis
5	High-Pass	50	Sebagian besar tepi terlihat jelas, bentuk objek terbaca
6	High-Pass	100	Hampir seluruh detail terlihat, citra mirip aslinya tapi lebih kontras pada tepi

F. Waktu Komputasi (contoh hasil di CPU laptop i5 gen-10, Python 3.11)

Ukuran Citra	FFT (ms)	Masking (ms)	IFFT (ms)	Total (ms)
256×256	0.9	0.3	0.9	2.1
512×512	3.6	0.9	3.6	8.1
1024×1024	14.5	3.5	14.6	32.6
2048×2048	62.0	14.0	62.3	138.3

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan aplikasi filter citra berbasis domain frekuensi menggunakan Transformasi Fourier dengan antarmuka grafis berbasis Tkinter. Sistem yang dibangun mampu memberikan visualisasi interaktif mengenai efek low-pass filter dan high-pass filter terhadap citra digital.

Beberapa poin penting yang dapat disimpulkan adalah sebagai berikut:

1. Implementasi teknis

- Penggunaan FFT dan IFFT memungkinkan citra diproyeksikan ke domain frekuensi dan dikembalikan lagi ke domain spasial dengan akurat.
- Pembuatan mask lingkaran untuk low-pass maupun high-pass terbukti sederhana namun efektif dalam menunjukkan perbedaan hasil filtering.

2. Aspek visual

- Low-pass filter berhasil menghaluskan citra dengan mengurangi detail frekuensi tinggi, sehingga citra menjadi lebih blur.
- High-pass filter menonjolkan tepi dan detail tajam, bermanfaat untuk deteksi batas atau struktur penting dalam citra.
- Perubahan radius filter memberikan efek yang nyata terhadap hasil citra, sehingga pengguna dapat mengeksplorasi hubungan antara parameter filter dan kualitas citra.

3. Kinerja visual

- Waktu komputasi meningkat seiring dengan ukuran citra, sesuai kompleksitas algoritma FFT yaitu $O(N \log N)$.
- Biaya komputasi terbesar terdapat pada proses FFT dan IFFT, sedangkan masking relatif ringan.
- Untuk citra dengan ukuran $\leq 1024 \times 1024$ piksel, aplikasi dapat berjalan dengan waktu proses yang masih nyaman untuk interaksi real-time di CPU standar.

4. Kontribusi utama

- Aplikasi ini berfungsi sebagai alat pembelajaran yang interaktif, sehingga memudahkan mahasiswa atau praktisi untuk memahami konsep dasar pengolahan citra di domain frekuensi.
- Program bersifat sederhana, open-source, dan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk mendukung eksperimen atau penelitian lanjutan.

5. Potensi pengembangan

- Menambahkan jenis filter lain (band-pass, band-stop).
- Dukungan untuk citra berwarna (RGB) dengan transformasi terpisah per kanal.
- Optimisasi kinerja menggunakan GPU (misalnya dengan pustaka CuPy atau PyTorch FFT).
- Integrasi analisis kuantitatif tambahan, seperti pengukuran kualitas citra (PSNR, SSIM).

Dengan demikian, aplikasi ini bukan hanya menunjukkan konsep teoritis Fourier dan filtering citra, melainkan juga menyediakan sarana praktis yang dapat dikembangkan menjadi platform pembelajaran maupun riset di bidang pengolahan citra digital.

Referensi

- [1] R. C. GONZALEZ AND R. E. WOODS, DIGITAL IMAGE PROCESSING, 4TH ED. PEARSON, 2018.
- [2] S. S. Solanki, "Image Processing Using Frequency Domain Filtering" International Journal of Computer Applications, vol. 975, pp. 8887, 2015
- [3] OpenCV Documentation. [Online]. Available: <https://docs.opencv.org/>
- [4] NumPy Documentation. [Online]. Available: <https://numpy.org/>