Prosiding Seminar Implementasi Teknologi Informasi dan Komunikasi
Vol. 4, No. 1, Januari 2025
ISSN: 2809-9834, DOI: 10.31284/p.semtik.2025-1.6855

Karakterisasi Batang Dendritik Menggunakan Grayscale Thresholding, Savitzky–Golay Filtration, dan Curvature Estimation

Satria Dioufan Artha Desanta, Raditya Lungguk Satya Putra, Sultan Rizqyllah, Fetty Tri Anggraeny*

Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur

*Penulis korespondensi. E-mail: fettyanggraeny.if@upnjatim.ac.id

ABSTRACT

Dendritic structures are often found in physical and chemical processes. Characterization of dendritic trunks, such as dominant wavelength and average height, still faces challenges as methods such as Fast Fourier Transform (FFT) cannot yet distinguish between dendritic main trunks from side branches. This research uses several digital image processing methods, including Grayscale Thresholding, Savitzky-Golay Filtration, and Curvature Estimation. The results showed that the applied methods were able to separate the dendritic stem from its branches, reduce noise, and produce characteristic wavelength and height parameters. Wavelength and height measurements in the time range of 6 to 21 seconds show that the average value of wavelength ranges from 99 to 168 microns with a standard deviation of about 37 to 71 microns, while the average value of height ranges from 156 to 457 microns with a standard deviation of about 44 to 77 microns.

Keywords

Pengolahan Citra Digital;
Karakterisasi;
Dendritik;

ABSTRAK

Struktur dendritik sering ditemukan dalam proses fisika dan kimia. Karakterisasi batang dendritik, seperti Panjang gelombang dominan dan tinggi rata-rata, masih menghadapi tantangan karena metode Fast Fourier Transform (FFT) belum dapat membedakan antara batang utama dendritik dari cabang samping. Penelitian ini menggunakan beberapa metode pengolahan citra digital, diantaranya Grayscale Thresholding, Savitzky–Golay Filtration, dan Curvature Estimation. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diterapkan mampu memisahkan batang dendritik dari cabangnya, mengurangi noise, dan menghasilkan parameter karakteristik panjang gelombang dan tinggi. Pengukuran panjang gelombang dan tinggi dalam rentang waktu 6 hingga 21 detik menunjukkan bahwa nilai rata-rata panjang gelombang berkisar antara 99 hingga 168 mikron dengan standar deviasi sekitar 37 hingga 71 mikron, sedangkan nilai rata-rata tinggi berkisar antara 156 hingga 457 mikron dengan standar deviasi sekitar 44 hingga 77 mikron.

PENDAHULUAN

Memahami pembentukan struktur telah menjadi subjek yang sangat menarik di berbagai disiplin ilmu selama beberapa dekade. Struktur dendritik merupakan salah satu struktur alami yang sering ditemukan pada berbagai proses fisika dan kimia [1]. Struktur ini berbentuk menyerupai pohon dengan cabang samping yang kompleks serta memiliki dinamika yang bervariasi. Oleh sebab itu, meskipun dapat membantu mengkarakterisasi batang dendritik, informasi mengenai struktur ini belum mampu membedakan secara akurat antara batang dendritik dan cabang samping. Memahami evolusi serta laju pertumbuhan yang beragam menjadi tantangan tersendiri, dan mendapatkan informasi karakterisasi yang akurat terkait struktur dendritik, seperti batang dendritik, sering kali rumit. Namun, karakterisasi panjang gelombang dominan dan laju pertumbuhannya tetap menjadi perhatian penting dalam penelitian ini. Oleh karena itu, memahami dan mengendalikan pembentukan elektrokimia dari struktur bercabang dan dendritik yang bercabang ini sangat menarik dalam beberapa bidang seperti energi, sensor kimia, dan pelapisan permukaan [4].

Elektrodeposisi telah banyak diamati dalam berbagai aplikasi seperti pelapisan elektro, pembentukan elektro, korosi elektro, dan pengisian baterai [6]. Dalam prosesnya, informasi mengenai panjang gelombang dan laju pertumbuhan batang dendritik sangat penting yang akan membantu, merancang dan mengontrol proses elektrodeposisi untuk mencapai pola dan sifat yang diinginkan dalam berbagai bidang, termasuk mikroelektronika, pelapisan permukaan, dan fabrikasi skala nano, yaitu pencetakan 3D berbiaya rendah dengan menggunakan elektrolisis sederhana. Secara khusus pada baterai informasi tersebut akan membantu merancang baterai Li-ion yang

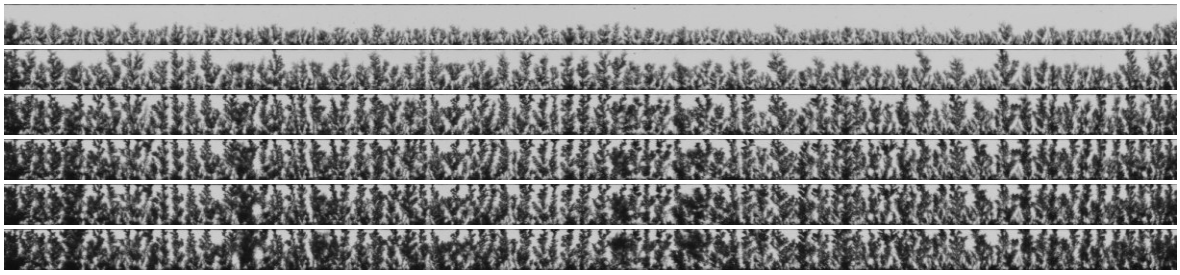
optimal, di mana dendritik dapat ditekan untuk menghindari korsleting yang menyebabkan masalah serius dan ledakan dahsyat [2, 3].

Dalam industri manufaktur, struktur dendritik sering diamati selama proses pemadatan logam atau dalam pengendapan material dari larutan. Kontrol terhadap pembentukan struktur ini sangat penting untuk memastikan pembentukan ini menghasilkan material dengan karakteristik tertentu, misalnya dalam industri mikroelektronika dan pencetakan 3D. Dalam konteks penyimpanan energi, struktur dendritik pada logam baterai lithium-ion menjadi tantangan dan hambatan utama. Pembentukan dendritik dapat menyebabkan masalah keamanan dan penurunan efisiensi siklus, karena hal ini dapat mengurangi kinerja baterai [5]. Akibatnya baterai kehilangan kemampuan dan menyebabkan kegagalan serius seperti korsleting internal [3]. Dengan demikian, pemahaman mengenai struktur ini tidak hanya berdampak pada optimalisasi proses produksi tetapi juga pada peningkatan keamanan dan efisiensi aplikasi teknologi.

Permasalahan utama yang dihadapi adalah kesulitan dalam memisahkan batang dendritik dari cabang sampingnya serta mengurangi noise pada citra yang dihasilkan. Untuk mengatasi permasalahan ini, penelitian ini menggunakan beberapa metode pengolahan citra digital, di antaranya Grayscale Thresholding, Savitzky-Golay Filtration, dan Curvature Estimation. Metode-metode ini diharapkan dapat mengevaluasi rata-rata tinggi dan panjang gelombang dominan batang dendritik dan memberikan hasil analisis yang lebih akurat dan terfokus. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan metode pengolahan citra digital yang mampu mengevaluasi dan mengidentifikasi parameter-parameter kunci dalam karakterisasi batang dendritik, seperti panjang gelombang dominan dan tinggi rata-rata. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah fokus pada karakterisasi batang dendritik tanpa memperhitungkan faktor-faktor eksternal lainnya yang mungkin mempengaruhi pertumbuhan dendritik.

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan kontribusi dalam pemahaman mendalam mengenai struktur dendritik serta memberikan landasan baru bagi berbagai perkembangan aplikasi praktis, seperti dalam bidang energi, sensor kimia, dan pelapisan permukaan. Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari citra evolusi dendrit yang diambil menggunakan kamera DSLR (Nikon D850) yang dipasang pada mikroskop stereo, dengan interval waktu tertentu untuk menangkap pertumbuhan dendrit secara real-time. Meskipun teknik seperti penggunaan analisis Fast Fourier Transform (FFT) telah digunakan secara luas untuk mempelajari struktur dendritik, pendekatan ini cenderung memiliki keterbatasan dalam mendeteksi batang dendritik detail spesifik, terutama pada struktur cabang utama dendritik. Oleh karena itu, pengembangan metode baru yang lebih spesifik dan akurat dalam mengidentifikasi serta menganalisis batang dendrit utama menjadi kebutuhan penting dalam upaya memahami evolusi pengembangan struktur dendritik secara lebih mendalam.

Data penelitian diambil dari jurnal berjudul *"A Digital Image Processing Tool for Characterizing Dendritic Trunks"*. Penelitian ini memanfaatkan urutan gambar struktur dendritik yang diambil secara periodik untuk memantau evolusi dendrit serta cabang-cabang sampingnya. Gambar-gambar tersebut menunjukkan perkembangan dendrit selama proses elektrodeposisi tembaga, sebagaimana diperlihatkan pada gambar 1. Melalui analisa ini, penelitian diharapkan mampu memberikan teknik pengolahan citra digital yang lebih efektif untuk memisahkan batang dendritik dari cabang sampingnya pada pertumbuhan dendrit dalam berbagai kondisi.



Gambar 1. Data penelitian gambar struktur dendritik yang diambil dengan interval waktu 6, 9, 12, 15, 18, 21 detik dan tinggi setiap gambar 500 mikrons.

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian ini menggunakan beberapa metode pengolahan citra digital yaitu metode Grayscale Thresholding, Savitzky–Golay Filtration, Curvature Estimation. Metode Grayscale Thresholding digunakan untuk memisahkan objek dari latar belakang berdasarkan nilai intensitas piksel, metode Savitzky–Golay Filtration digunakan untuk memperhalus data dan mengurangi noise, dan metode Curvature Estimation digunakan untuk menentukan bentuk dan karakteristik geometri dari objek dalam citra.

Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital adalah proses pengolahan citra yang dilakukan dengan menggunakan algoritma untuk meningkatkan kualitas citra atau mengekstrak informasi yang berguna [7, 8]. Proses ini melibatkan berbagai teknik yang dapat digunakan untuk mengubah citra dari domain spasial ke domain frekuensi, serta untuk melakukan analisis. Dalam konteks karakterisasi batang dendritik, pengolahan citra digital digunakan untuk mengisolasi fitur-fitur penting dari citra dendritik, seperti tinggi dan panjang gelombang batang dendritik.

Dendritik

Dendritik adalah struktur bercabang yang sering ditemukan dalam berbagai fenomena fisika dan kimia, termasuk dalam proses elektrodeposisi, solidifikasi, dan pertumbuhan kristal [1]. Struktur dendritik memiliki karakteristik unik yang dapat memberikan wawasan tentang mekanisme pertumbuhan dan interaksi material. Dalam penelitian ini, fokus utama adalah pada karakterisasi batang dendritik, yang merupakan bagian utama dari struktur tersebut.

Karakterisasi batang dendritik melibatkan pengukuran berbagai parameter, seperti tinggi, panjang gelombang, dan distribusi massa. Parameter-parameter ini dapat memberikan informasi penting tentang dinamika pertumbuhan dendritik dan faktor-faktor yang mempengaruhi pembentukannya. Dengan menggunakan teknik pengolahan citra digital, peneliti dapat memperoleh data yang lebih akurat dan mendetail mengenai struktur dendritik.

Grayscale Thresholding

Grayscale thresholding adalah teknik pengolahan citra yang digunakan untuk memisahkan objek dari latar belakang berdasarkan nilai intensitas piksel [9, 10]. Dalam konteks karakterisasi batang dendritik, teknik ini sangat berguna untuk mengidentifikasi piksel yang mewakili batang dendritik dengan menetapkan ambang batas tertentu. Proses ini melibatkan penentuan nilai ambang yang tepat untuk memisahkan piksel gelap (batang dendritik) dari piksel terang (latar belakang).

Setelah penerapan grayscale thresholding, langkah selanjutnya adalah menghitung jumlah piksel yang mewakili batang dendritik. Dengan cara ini, informasi tentang distribusi massa dan lokasi batang dendritik dapat diperoleh, yang sangat penting untuk analisis lebih lanjut. Teknik ini juga membantu mengurangi noise yang ada pada citra asli, sehingga meningkatkan akurasi pengukuran.

Savitzky–Golay Filtration

Savitzky–Golay Filtration adalah metode pemrosesan sinyal yang digunakan untuk memperhalus data dan mengurangi noise sambil mempertahankan fitur penting [11]. Dalam konteks pengolahan citra, teknik ini sering digunakan untuk menghaluskan distribusi massa yang diperoleh dari citra dendritik. Metode ini bekerja dengan menerapkan polinomial pada jendela data yang bergerak, sehingga menghasilkan estimasi yang lebih halus dari data asli.

Penerapan Savitzky–Golay filtration dalam karakterisasi batang dendritik digunakan dalam mengidentifikasi puncak-puncak yang mewakili batang dendritik dengan lebih akurat. Dengan mengurangi noise, informasi yang relevan tentang tinggi dan panjang gelombang batang dendritik dapat diekstraksi dengan lebih efektif, sehingga meningkatkan kualitas analisis. Rumus Savitzky–Golay Filtration adalah sebagai berikut :

$$y_i' = \sum_{j=-k}^{k} c_j \, . \, y_i + j$$

Keterangan :
y'i adalah nilai yang sudah difilter pada titik,
yi + j adalah nilai asli dari data di sekitar titik,
cj adalah koefisien polinomial untuk fitting lokal,
k adalah jendela setengah filter (misalnya, jika jendela total adalah 5, maka *k* = 2).

Curvature Estimation

Curvature Estimation adalah teknik yang digunakan untuk menentukan bentuk dan karakteristik geometri dari objek dalam citra [1]. Dalam konteks karakterisasi batang dendritik, estimasi kelengkungan sangat penting untuk mengidentifikasi puncak dan lembah dalam distribusi massa yang dihasilkan dari pengolahan citra. Dengan menghitung turunan pertama dan kedua dari fungsi distribusi, peneliti dapat menentukan lokasi puncak yang mewakili batang dendritik.

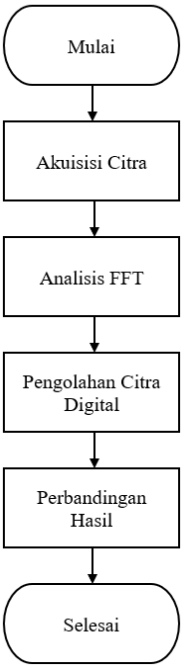
Curvature Estimation diperlukan untuk mengidentifikasi lokasi batang dendritik dalam citra yang telah diproses. Dengan informasi ini, analisis lebih lanjut dapat dilakukan untuk memahami dinamika pertumbuhan dan interaksi antara batang dendritik dan cabang samping. Teknik ini, ketika digabungkan dengan metode pengolahan citra lainnya, memberikan pendekatan yang komprehensif untuk karakterisasi batang dendritik. Rumus Curvature Estimation adalah sebagai berikut :

$$k = \frac{y''}{(1 + (y')^2)^{3/2}}$$

Keterangan :
y'' adalah turunan pertama dari data yang difilter,
y' adalah turunan kedua dari data yang difilter.

METODE

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan beberapa langkah penting dalam pengolahan citra untuk menganalisis dan mengkarakterisasi struktur dendritik. Penulis menggunakan dataset yang digunakan oleh penelitian terdahulu yang diperoleh dari jurnal berjudul "A digital image processing tool for characterizing dendritic trunks" , metode untuk mendapatkan dataset juga dijelaskan di dalam jurnal.



Gambar 2. Flowchart Metodologi Penelitian

Berikut adalah metodologi yang diterapkan dalam penelitian:

1. Akuisisi Citra

   Penelitian dimulai dengan menyiapkan setup elektrodeposisi yang melibatkan elektroda tembaga yang dicetak pada wafer kaca yang dipoles. Elektroda ini dicelupkan ke dalam larutan elektrolit tembaga sulfat dengan konsentrasi tertentu. Citra evolusi dendrit diambil menggunakan kamera DSLR (Nikon D850) yang dipasang pada mikroskop stereo (Olympus SZX-7). Gambar diambil pada interval waktu 3 detik untuk menangkap pertumbuhan dendrit secara real-time.
2. Analisis FFT

   Pada tahap analisis FFT (Fast Fourier Transform), algoritma dimulai dengan mengonversi data gambar dendritik dari domain spasial ke domain frekuensi untuk mengidentifikasi pola dan karakteristik frekuensi spasial. Proses ini diawali dengan representasi data gambar dalam bentuk matriks intensitas piksel. Selanjutnya, FFT diterapkan untuk menghitung transformasi Fourier dari matriks tersebut, menghasilkan spektrum frekuensi kompleks yang mencakup komponen magnitudo dan fase. Magnitudo spektrum digunakan untuk mengidentifikasi dominasi frekuensi tertentu yang mencerminkan pola periodik dalam struktur dendritik.
3. Pengolahan Citra Digital

   - Grayscale Thresholding: Citra yang diambil diubah menjadi citra grayscale. Ambang batas ditetapkan (misalnya, nilai 150) untuk memisahkan dendrit dari latar belakang. Proses ini membantu dalam mengidentifikasi area yang mengandung batang dendritik.
   - Savitzky–Golay Filtration: Setelah thresholding, citra yang dihasilkan sering kali masih mengandung noise. Oleh karena itu, filtrasi Savitzky–Golay diterapkan untuk menghaluskan data dan mengurangi noise, sehingga menghasilkan citra yang lebih bersih dan lebih mudah dianalisis.
   - Curvature Estimation: Langkah ini melibatkan pengukuran atribut dari batang dendritik, seperti tinggi rata-rata dan panjang gelombang dominan. Teknik ini membantu dalam memahami dinamika pertumbuhan batang dendritik dengan lebih baik.
4. Perbandingan Hasil

   Hasil dari metode pengolahan citra yang baru ini dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari analisis FFT. Perbandingan ini bertujuan untuk menunjukkan keefektifan

teknik yang diusulkan dalam mengisolasi dan menganalisis batang dendritik secara lebih akurat.

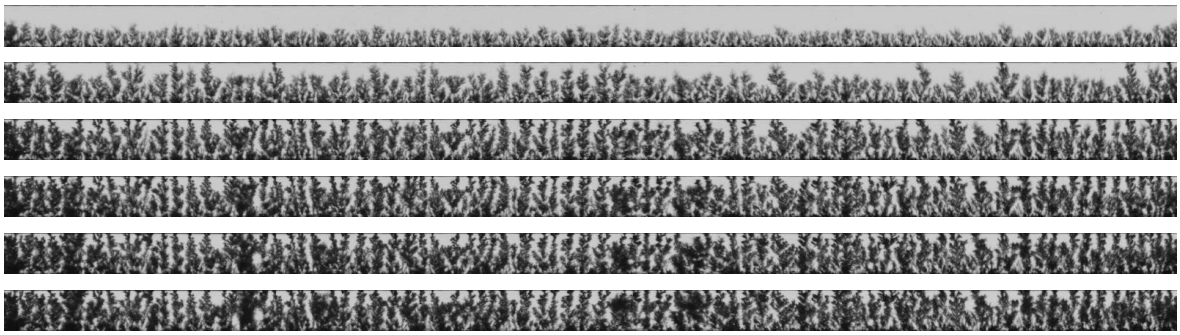
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang hasil analisis struktur atau karakter batang dendritik yang sudah dilakukan pada bab III metode penelitian. Pada bab ini menganalisis dan mengkarakterisasi batang dendrit dari hasil pengolahan citra digital dengan metode Grayscale thresholding, Savitzky-Golay filtration, dan Curvature estimation.

Program yang telah dibuat dengan bahasa python akan memproses data, lalu akan menampilkan output dalam bentuk file spreadsheet untuk menampilkan angka, file pdf untuk menampilkan diagram, dan file gambar untuk menampilkan hasil data yang telah diproses FFT.

Grayscale Thresholding

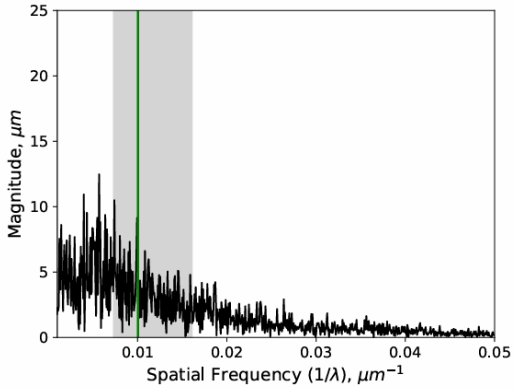
Sebelum dianalisis, data akan melalui proses grayscale thresholding. Metode ini dilakukan untuk meningkatkan kontras, sehingga memudahkan identifikasi struktur cabang-cabang pada dendrit. Penerapan metode ini bisa dilihat sebagai berikut.

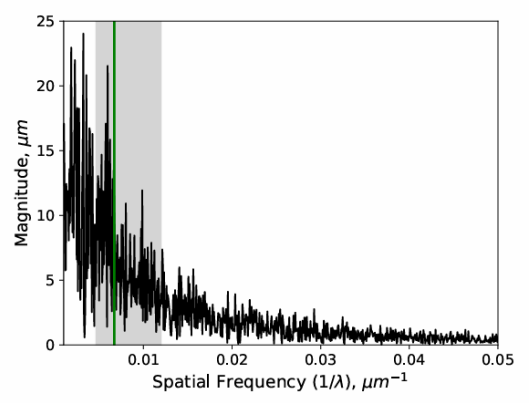


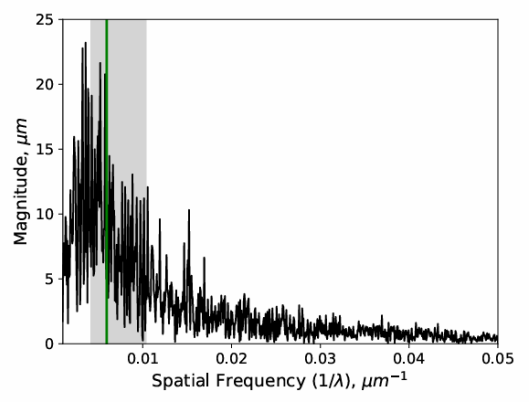
Gambar 3. Urutan gambar struktur dendritik yang diambil dengan waktu 6, 9, 12, 15, 18, 21 detik dan tinggi setiap gambar 500 microns.

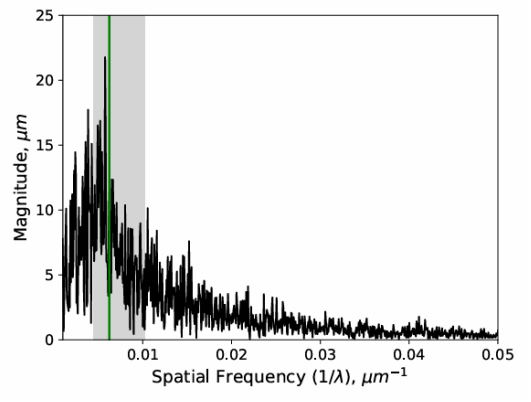
Analisis FFT

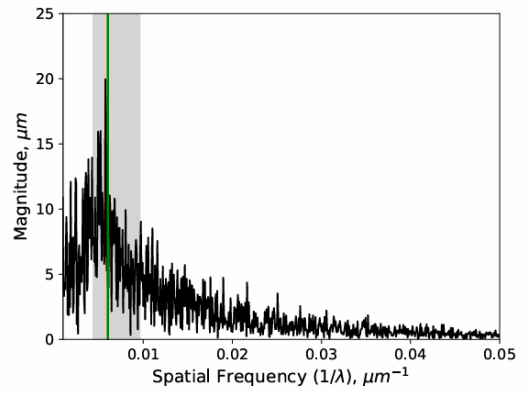
Setelah grayscale thresholding, data baru akan dianalisis menggunakan metode FFT (Fast Fourier Transform). Analisis menggunakan metode FFT ini memiliki 2 tujuan yaitu untuk mencari tahu magnitude dan spatial frequency dari struktur batang dendrit. Hasil dari analisis ini akan berupa file pdf yang menunjukkan diagram, dimana dalam diagram tersebut juga terdapat garis vertikal hijau dan area abu-abu untuk menunjukkan bagian dari struktur batang dendrit.

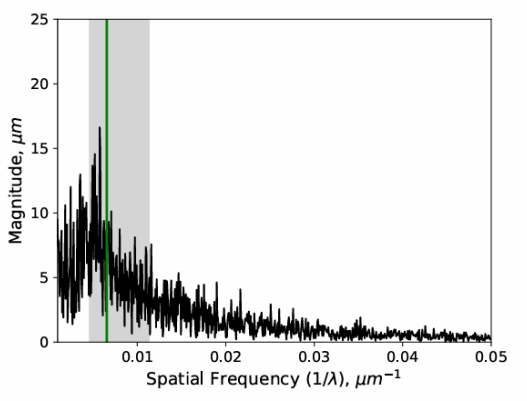



Magnitude, μm
Spatial Frequency (1/λ), μm^{-1}


Magnitude, μm
Spatial Frequency (1/λ), μm^{-1}


Magnitude, μm
Spatial Frequency (1/λ), μm^{-1}


Magnitude, μm
Spatial Frequency (1/λ), μm^{-1}



Gambar 4. Analisis FFT dari struktur batang dendrit yang diambil dengan jangka waktu berbeda. Area abu-abu mewakili standard deviation sedangkan garis hijau adalah superimposed FFT.

Savitzky-Golay Filtration dan Curvature Estimation

Pengolahan data dalam langkah tersebut dapat memberikan hasil yang cukup noisy dikarenakan struktur cabang dendrit. Hal tersebut dapat mengakibatkan hasil yang keliru atau kurang akurat. Untuk mengatasi masalah ini, kita menerapkan metode filtrasi Savitzky-Golay. Filter-filter lainnya seperti low-pass tidak dapat digunakan karena dapat memperparah distorsi sehingga puncak dan lembah cabang dendrit menjadi tidak akurat. Berikut adalah penerapan filtrasi Savitsky-Golay dan curvature estimation.

$$\phi_m[i] = \sum_{j=\frac{1-m}{2}}^{\frac{m-1}{2}} C_j \, \phi[i+j]$$

dimana $(m+1)/2 \leq i \leq n-(m-1)/2$

n dan m adalah banyaknya kolom pixel dalam gambar dan panjang filter.

Konvolusi koefisien matrix C bisa didapat dengan cara berikut

$$C = \left(A^T A\right)^{-1} A^T$$

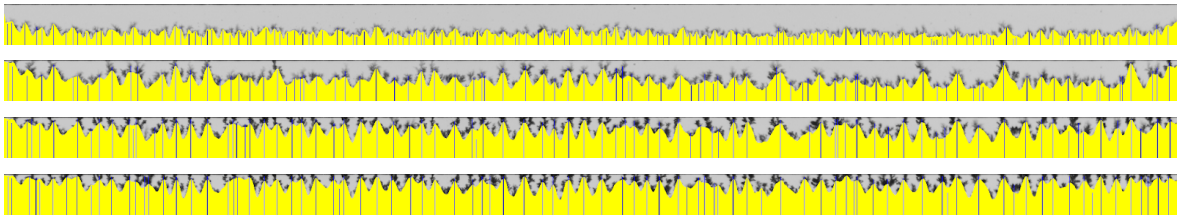
Lalu, A adalah matrix vandermonde

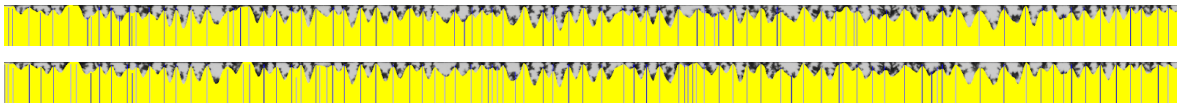
$$A_{i,j} = i^j .$$

Lalu, kita bisa mengevaluasi lengkungan dan lembah dengan cara berikut

$$\phi'[i] = \phi_m[i+l] - \phi_m[i-l] .$$
$$\phi''[i] = \phi_m[i+l] + \phi_m[i-l] - 2\phi_m[i]$$

Setelah menerapkannya, bisa didapat hasil filtering seperti dibawah:





Gambar 5. Urutan gambar yang menunjukkan hasil filtrasi yang diterapkan pada struktur dendrit.

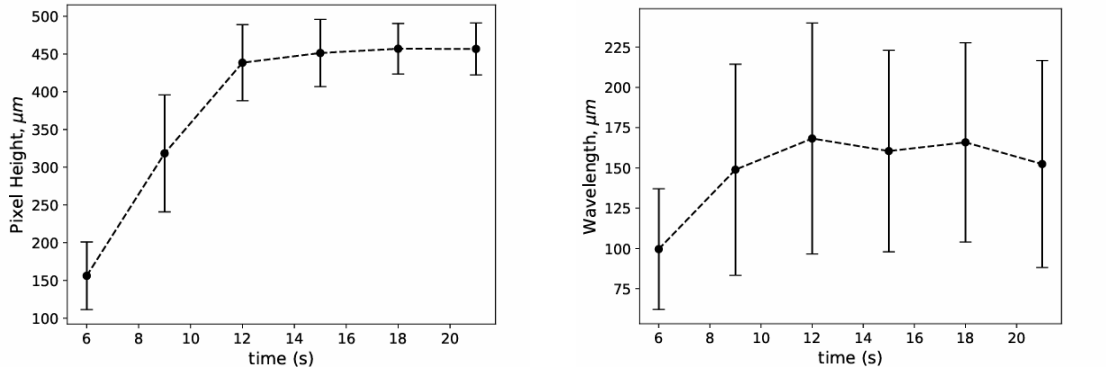
Hasil Akhir

Setelah melalui semua tahapan tadi, program akan menampilkan 3 output. Output satu adalah file spreadsheet yang menampilkan beberapa parameter seperti mean wavelength, mean height, std. deviation of wavelength, dan std. deviation of height dalam satuan microns.

	A	B	C	D	E
1	Time (s)	Mean Wavelength (microns)	Std. Deviation of Wavelength (microns)	Mean Height (microns)	Std. Deviation of Height (microns)
2	6	99.61294863	37.46115031	156.1364272	44.791545
3	9	148.9191037	65.53306986	318.3309038	77.53874042
4	12	168.2783579	71.65671587	438.5262726	50.47756869
5	15	160.4875283	62.57994383	451.3904463	44.47552602
6	18	165.9042928	61.82563229	457.0529917	33.41192809
7	21	152.443609	64.28285396	456.8053784	34.42382232

Gambar 6. Hasil output file spreadsheet

Selain itu, output kedua dan ketiga berupa file pdf yang berisi gambar diagram. Diagram tersebut menunjukkan analisis perbandingan height dan wavelength dari semua data yang digunakan.



Gambar 7. Hasil output perbandingan tinggi (height) dan panjang gelombang (wavelength)

KESIMPULAN

Penelitian ini mengimplementasikan beberapa metode pengolahan citra digital, diantaranya Grayscale Thresholding, Savitzky–Golay Filtration, dan Curvature Estimation. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode yang diterapkan mampu memisahkan batang dendritik dari cabangnya, mengurangi noise, dan menghasilkan parameter karakteristik panjang gelombang dan tinggi. Pengukuran panjang gelombang dan tinggi dalam rentang waktu 6 hingga 21 detik menunjukkan bahwa nilai rata-rata panjang gelombang berkisar antara 99 hingga 168 mikron dengan standar deviasi sekitar 37 hingga 71 mikron, sedangkan nilai rata-rata tinggi berkisar antara 156 hingga 457 mikron dengan standar deviasi sekitar 44 hingga 77 mikron.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Diwakar, S. V., et al. "A digital image processing tool for characterizing dendritic trunks." Signal, Image and Video Processing 18.5 (2024): 4267-4273.

[2] Ma, M.C., Li, G., Chen, X., Archer, L.A., Wan, J.: Suppression of dendrite growth by cross-flow in microfluidics. Sci. Adv. 7(8), 6941 (2021)

[3] Aslam, M.K., Niu, Y., Hussain, T., Tabassum, H., Tang, W., Xu, M., Ahuja, R.: How to avoid dendrite formation in metal batteries: innovative strategies for dendrite suppression. Nano Energy 86, 106142 (2021).
[4] Kharbachi, C., et al. (2021). Crossover between Re-Nucleation and Dendritic Growth in Electrodeposition without Supporting Electrolyte. Journal of The Electrochemical Society, 168(072507).
[5] Seong, I. W., Hong, C. H., Kim, B. K., & Yoon, W. Y. (2007). The effects of current density and amount of discharge on dendrite formation in the lithium powder anode electrode. Division of Material Science Engineering, Korea University. Seoul, Republic of Korea.
[6] Chen, L., Zhang, H. W., Liang, L. Y., Liu, Z., Qi, Y., Lu, P., Chen, J., & Chen, L.-Q. (2015). Modulation of dendritic patterns during electrodeposition: A nonlinear phase-field model. Journal of Power Sources, 300, 376-385.
[7] Siaulhak, S. (2023). Sistem Klasifikasi Buah Jagung Dengan Menggunakan Metode Image Processing Pengelolaan Citra Digital. D'computare: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, 13(2), 33-41.
[8] Perwati, I. G., Suarna, N., & Suprapti, T. (2024). ANALISIS KLASIFIKASI GAMBAR BUNGA LILY MENGGUNAKAN METODE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK (CNN) DALAM PENGOLAHAN CITRA. JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika), 8(3), 2908-2915.
[9] Fahla, A., Jalil, A., & Rahmadewi, R. (2024). Segmentasi Citra Digital Ikan Menggunakan Metode Thresholding. Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi, 10(2), 448-456.
[10] Salsabila, A., Yunita, R., & Rozikin, C. (2021). Identifikasi Citra Jenis Bunga menggunakan Algoritma KNN dengan Ekstrasi Warna HSV dan Tekstur GLCM. Technomedia Journal, 6(1 Agustus), 124-137.
[11] Wu, R., Li, Y., & Zhang, S. (2023). Strain fields measurement using frequency domain Savitzky–Golay filters in digital image correlation. Measurement Science and Technology, 34(9), 095115.