

MORFOLOGI THINNING PADA CITRA BINER MENGGUNAKAN DETEKSI TEPI

MORPHOLOGICAL THINNING ON BINARY IMAGES USING EDGE DETECTION

Teady Matius Surya Mulyana, tmulyana@bundamulia.ac.id^{1)*}, Jusia Amanda Ginting, jginting@bundamulia.ac.id²⁾, I Gusti Ngurah Suryantara, gusti@bundamulia.ac.id³⁾,
Destriana Widyaningrum, 10894@lecturer.ubm.ac.id⁴⁾, Ester Lumba,
10178@lecturer.ubm.ac.id⁵⁾, Frans Sinata, 11834@lecturer.ubm.ac.id⁶⁾

^{1) 2) 3) 4) 5) 6)}Program Studi Informatika/ Fakultas Teknik dan Desain, Universitas Bunda Mulia

Diterima 21 Maret 2026 / Disetujui 18 Juni 2026

ABSTRACT

The image thinning process generally relies on conventional morphological operations by matching various configurations of structuring elements. This research implements an alternative fundamental process to perform thinning on binary images using an edge detection technique based on high-pass filtering. The filter is designed using a 4-connectivity concept with a negative core value and a total coefficient equal to zero, where the core value is -4, the orthogonal neighbor values are 1, and the diagonal corners are 0. This configuration functions to detect changes in pixel intensity between black pixels (objects) and white pixels (background). The resulting edge detection is dynamically utilized as a map to guide erosion operations on the original object image. The process is executed iteratively, where the edge of the erosion result at each stage is re-extracted to guide the clipping in the subsequent iteration. Iteration boundaries are geometrically established until they produce a black object skeleton that converges to a specification of 1 pixel wide for vertical lines and 1 pixel high for horizontal lines. The experimental results demonstrate that this edge-detection-guided erosion mechanism with negative-centered 4-connectivity visually succeeds in precise thinning and yields an exceptionally high degree of positional agreement with its original object without destroying the character topology.

Keywords: Binary Image, Thinning, High-Pass Filtering, Guided Erosion, 4-Connectivity.

ABSTRAK

Proses penipisan citra (*thinning*) umumnya mengandalkan operasi morfologi konvensional dengan mencocokkan berbagai variasi elemen struktur (*structuring element*). Penelitian ini menerapkan proses dasar alternatif untuk melakukan thinning pada citra biner menggunakan teknik deteksi tepi berbasis filter lolos atas (*high-pass filtering*). Filter dirancang menggunakan konsep 4-konektivitas dengan nilai pusat (*core*) negatif dan total koefisien sama dengan nol, di mana nilai pusat adalah -4, nilai tetangga ortogonal adalah 1, dan sudut diagonal adalah 0. Konfigurasi ini berfungsi mendeteksi perubahan intensitas piksel hitam (objek) terhadap piksel putih (latar belakang). Hasil dari deteksi tepi ini digunakan secara dinamis sebagai pemandu operasi erosi pada citra objek asli. Proses dilakukan secara iteratif, di mana hasil erosi pada setiap tahapan akan diekstrak kembali tepinya untuk memandu pengikisan pada iterasi berikutnya. Batasan iterasi ditetapkan secara geometris hingga menghasilkan rangka (skeleton) objek hitam yang konvergen dengan spesifikasi selebar 1 piksel untuk garis vertikal dan setinggi 1 piksel untuk garis horisontal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme erosi terbimbing deteksi tepi 4-konektivitas berpusat negatif ini secara visual berhasil melakukan thinning secara presisi serta menghasilkan tingkat kesesuaian posisi yang sangat tinggi terhadap objek asalnya tanpa merusak topologi karakter.

Kata Kunci: Citra Biner, Thinning, High Pass Filtering, Erosi Terbimbing, 4-Konektivitas

*Korespondensi Penulis: Teady Matius surya Mulyana
E-mail: tmulyana@bundamulia.ac.id

PENDAHULUAN

Dalam pengolahan citra digital, reduksi data geometris tanpa kehilangan informasi struktural merupakan tahap prapengolahan yang krusial untuk aplikasi pengenalan pola, khususnya pada sistem pengenalan karakter (*Optical Character Recognition*)[1]. Proses binarisasi yang memisahkan objek dengan latar belakang sering kali menyisakan ketebalan piksel yang bervariasi. Oleh sebab itu, diperlukan teknik thinning (penipisan)[2] citra biner untuk mentransformasikan objek karakter yang tebal menjadi bentuk rangka (skeleton) minimal, dengan tetap mempertahankan konektivitas, topologi, dan arah geometris asli dari karakter tersebut[3]. Pada skenario dokumen digital hasil pemindaian (*scanning*) atau manuskrip kuno, objek karakter umumnya direpresentasikan sebagai piksel berwarna hitam di atas latar belakang berwarna putih[4].

Secara konvensional, operasi thinning menggunakan pendekatan morfologi matematika seperti erosi berulang yang membutuhkan pencocokan berbagai variasi elemen struktur (*structuring element*) searah mata angin untuk mengikis objek hitam dari berbagai sisi[5], [6]. Prapengolahan lain seperti filter lolos rendah (*low-pass filter*)[7] atau filter Gaussian sering diaplikasikan untuk mereduksi derau atau menghaluskan citra[8], [9], [10], [11], namun pendekatan tersebut kurang optimal dalam mempertahankan detail tepi tajam yang dibutuhkan pada pembentukan rangka. Penapisan frekuensi tinggi atau *high-pass filtering* (HPF) umumnya digunakan untuk peningkatan kualitas citra (*image enhancement*)[12], atau penghilangan efek kabut[13]. Melalui manipulasi kernel penapis, HPF dapat dikembangkan untuk mengisolasi batas luar objek secara langsung guna memandu proses pengikisan secara lebih terarah. Penelitian ini mengusulkan proses dasar morfologi *thinning* pada citra biner dengan memanfaatkan deteksi tepi berbasis *high-pass filtering* (HPF) dengan total koefisien nol[14]. Penapis yang dirancang menerapkan prinsip tetangga 4-konektivitas (*4-connected neighborhood*) dengan nilai pusat (*core*) bernilai negatif dan total jumlah koefisien matriks sama dengan nol. Karakteristik kernel ini secara spesifik mengekstrak komponen tepi berupa piksel objek (hitam) yang berbatasan langsung dengan latar belakang (putih). Hasil deteksi tepi tersebut kemudian digunakan sebagai peta panduan untuk mengerosi (mengikis) objek pada citra karakter aslinya[14]. Dengan melakukan proses deteksi tepi dan pengikisan ini secara berulang-ulang (iteratif), karakter hitam akan menipis secara konsentris hingga mencapai batas ukuran minimal, yaitu selebar 1 piksel untuk garis vertikal dan setinggi 1 piksel untuk garis horisontal.[15]

METODE PENELITIAN

Metode penipisan objek pada citra biner $f(x,y)$ dilakukan melalui prosedur iteratif yang sistematis dengan memanfaatkan konsep konvolusi matriks[16]. Alur dan logika dasar dari algoritma ini terdiri dari masukan citra biner, perancangan kernel deteksi tepi dengan 4 konektivitas dengan pusat negatif, serta mekanisme Erosi terbimbing Deteksi tepi secara iteratif

Citra input merupakan citra biner dengan ketentuan warna objek karakter adalah hitam (nilai piksel = 0) dan warna latar belakang (*background*) adalah putih (nilai piksel = 1) seperti yang dipergakan pada Rumus (1)[17]

$$f(x,y) = \begin{cases} 0, & \text{piksel objek karakter (hitam)} \\ 1, & \text{piksel latar belakang (Putih)} \end{cases} \quad (1)$$

Untuk mendeteksi piksel hitam yang bertetangga dengan piksel putih, digunakan penapis lolos atas 4-konektivitas berukuran 3×3 . Nilai pusat (*core*) diset negatif (-4), elemen sudut diagonal diset 0, sementara tetangga atas, bawah, kiri, dan kanan diset positif (1), matriks 4 konektivitas ini dapat dilihat pada Rumus (2). Matriks tersebut memenuhi syarat mutlak total koefisien nol: $\sum K(i,j) = 0$.

$$K = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Mekanisme Erosi Terbimbing Deteksi Tepi secara Iteratif dilakukan untuk secara berulang sampai mendapatkan ketipisan yang diinginkan. Proses penipisan dilakukan melalui tahapan looping sebagai berikut:

1. Deteksi Tepi (E_t): Citra objek karakter pada iterasi ke- t (f_t) dikonvolusikan dengan kernel K untuk menghasilkan citra tepi E_t . Karena total koefisien bernilai 0, area interior objek hitam (semua piksel bernilai 0) dan area latar belakang putih (semua piksel bernilai 1) akan menghasilkan nilai respons konvolusi 0. Respons tidak bernilai nol ($E_t(x,y) \neq 0$) hanya terjadi pada piksel hitam objek yang berbatasan langsung dengan piksel putih latar belakang melalui tetangga 4-arah.
2. Erosi Terbimbing (Pengikisan Objek Hitam): Hasil deteksi tepi E_t digunakan sebagai panduan langsung untuk mengikis citra asli f_t . Piksel objek hitam yang posisinya berimpit dengan piksel tepi yang terdeteksi akan dierosi dengan cara mengubah nilainya menjadi 1 (putih) seperti pada rumus (3)

$$f_{t+1}(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{jika } E_t(x,y) \neq 0 \text{ dan jika } f_t(x,y) = 0 \\ f_t(x,y), & \text{lainnya} \end{cases} \quad (3)$$

























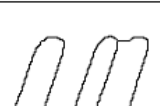
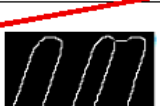

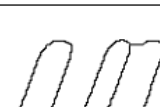

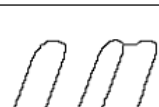
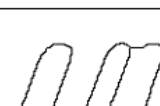

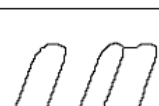
3. Ekstraksi Ulang: Citra baru hasil pengikisan f_{t+1} dijadikan acuan pada iterasi berikutnya ($t+1$) untuk dicari lagi tepinya dan dierosi kembali.

Proses iterasi ekstraksi tepi dan erosi terbimbing ini akan berhenti secara otomatis jika rangka objek karakter hitam telah mencapai batas ketebalan minimal, yaitu: Garis Vertikal: Hanya menyisakan ketebalan selebar 1 piksel hitam. Garis Horizontal: Hanya menyisakan ketebalan setinggi 1 piksel hitam. Jika kondisi batas geometris tersebut terpenuhi, maka citra dinyatakan telah konvergen dan proses dihentikan.

Tahapan algoritma penipisan (*thinning*) yang diusulkan dilakukan secara berulang (*iterative process*) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 1. Pada setiap iterasi t , deteksi tepi objek dilakukan terhadap latar belakang (*background*) untuk mengidentifikasi piksel batas terluar. Hasil ekstraksi tepi tersebut kemudian digabungkan kembali dengan citra masukan melalui operasi *superimpose*. Hasil dari proses *superimpose* pada iterasi t akan menjadi citra masukan (input) baru untuk iterasi berikutnya ($t+1$). Mekanisme umpan balik ini ditunjukkan oleh indikator panah merah pada Gambar 1. Proses pengikisan ini berjalan secara sekuensial hingga algoritma mencapai kondisi konvergen, yaitu ketika bentuk kerangka (*skeleton*) objek telah stabil dan tidak mengalami perubahan geometris lebih lanjut. Alasan Iterasi 11 Disebut Konvergen

- Bentuk Citra Stabil: Objek sudah mencapai ketebalan minimal.
- Idempoten: Iterasi ke-12 dan seterusnya akan menghasilkan gambar yang sama persis.
- Konektivitas Terjaga: Kerangka objek tidak akan terputus atau hilang.
- Deteksi Selesai: Tidak ada lagi piksel tepi baru yang memenuhi syarat untuk dihapus.

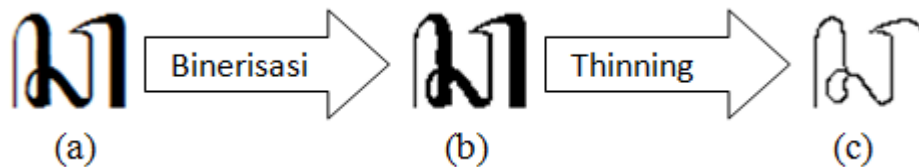
Berdasarkan hasil pengujian visual, kerangka objek biner ini secara konsisten mengalami penyusutan geometris di setiap fasenya tanpa memutus konektivitas ataupun kontinuitas topologi asli dari struktur utama objek.

iterasi	asal	Hasil Deteksi Tepi	Hasil Superimpose
Iterasi ke 1			
Iterasi ke 2			
Iterasi ke 3			
Iterasi ke 4			
Iterasi ke 5			
Iterasi ke 6			
Iterasi ke 7			
Iterasi ke 8			
Iterasi ke 9			
Iterasi ke 10			
Iterasi ke 11 Konvergen			

Gambar 1. Ilustrasi proses iterasi penipisan (thinning) sampai konvergen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan menggunakan sampel citra biner berupa karakter huruf jawa dengan latar belakang putih untuk mengamati akurasi geometri hasil penipisan. Karakteristik penapis 4-konektivitas berpusat negatif terbukti sangat efisien dalam mengisolasi batas luar karakter hitam tanpa merusak area esensial di bagian dalam persimpangan garis (*junction*). Hasil akhir dari proses prapengolahan dan iterasi penipisan citra karakter hitam ini disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Thinning Citra Aksara Jawa

Untuk menjamin kualitas dan validitas dari algoritma yang diusulkan, dilakukan analisis spasial mengenai tingkat kesesuaian antara rangka hasil thinning akhir dengan bentuk geometri dari objek asalnya. Ilustrasi visual mengenai derajat superimposisi atau kesesuaian struktural tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. kesesuaian thinning dengan objek asal

Berdasarkan hasil superimposisi citra pada Gambar 3, dapat dibuktikan secara empiris bahwa penipisan objek berbasis filter lolos atas ini memiliki akurasi penempatan posisi (*spatial alignment*) yang sangat tinggi. Garis rangka hitam setebal satu piksel yang dihasilkan berada tepat di pusat geometris (*centerline*) dari bentuk karakter asli. Karakteristik evaluasi visual pasca-proses dirangkum secara mendetail pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Evaluasi Karakteristik Visual Hasil Akhir Thinning Karakter Hitam

Komponen Geometri Karakter	Kondisi Awal Objek	Hasil Visual Akhir Penipisan	Status Konektivitas Anatomi	Kesesuaian Posisi (<i>Centerline</i>)
Segmen Garis Vertikal	Tebal (Jamak Piksel)	Lebar 1 Piksel Hitam	Terhubung Baik (Tidak Terputus)	Presisi di Tengah Objek Asal
Segmen Garis Horizontal	Tebal (Jamak Piksel)	Tinggi 1 Piksel Hitam	Terhubung Baik (Tidak Terputus)	Presisi di Tengah Objek Asal
Area Persimpangan (<i>Junction</i>)	Tebal dan Bertumpuk	Struktur Rangka Minimal	Topologi Asli Karakter Terjaga	Tidak Mengalami Pergeseran Sisi

Kelebihan utama dari penggunaan hasil deteksi tepi 4-konektivitas sebagai panduan erosi berulang ini adalah kemampuannya dalam menjaga konektivitas dan bentuk dasar anatomi karakter biner hitam tanpa menimbulkan pergeseran posisi koordinat objek. Pada beberapa

metode morfologi standar atau algoritma paralel konvensional seperti Zhang-Suen, [15], pengikisan dari orientasi tertentu kerap berpotensi memunculkan cabang semu (*spurious branches*) atau pergeseran letak rangka ke salah satu sisi jika aturan ketetanggaan tidak terpenuhi secara ketat. Namun, dengan batasan dimensi tegas dimana lebar 1 piksel untuk vertikal dan tinggi 1 piksel untuk horisontal yang dipandu secara simultan oleh filter frekuensi tinggi berpusat negatif, komputasi terbukti konvergen tepat pada rangka inti asli objek sebagaimana terlihat pada Gambar 3.

Peta batas luar ini berhasil menjadi pemandu dinamis yang presisi untuk eksekusi fungsi erosi iteratif. Hasil transformasi akhir pada kolom berkas penipisan (-Thin.bmp) memperlihatkan konvergensi rangka yang optimal. Ketebalan karakter terpankaskan konsisten hingga menyisakan resolusi ketebalan tunggal 1 piksel. Evaluasi menyeluruh membuktikan bahwa integrasi deteksi tepi ini mampu menjaga kelestarian topologi lengkungan rumit aksara Jawa tanpa memicu fenomena garis putus (diskontinuitas) serta mempertahankan posisi sumbu tengah objek asli secara konsisten.



Gambar 3. Contoh sampel data uji aksara Jawa.

Untuk mengevaluasi konsistensi algoritma secara lebih mendalam, dilakukan analisis visual mendetail terhadap karakteristik geometris pada masing-masing sampel karakter yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Sampel 1 dan 2 (Karakter dengan Lengkungan Kompleks): Karakter pada sampel 1 dan 2 memiliki lekukan melingkar yang tumpang tindih di bagian bawah. Hasil pada berkas 1-Tanda.bmp dan 2-Tanda.bmp membuktikan bahwa penapis 4-konektivitas mampu memisahkan

batas ruang kosong di dalam lubang kecil tersebut. Efeknya, pada hasil *thinning* (1-Thin.bmp dan 2-Thin.bmp), struktur lubang (*loop*) tidak menutup atau tersumbat, melainkan tetap mempertahankan lubang topologi asli dengan diameter minimal.

Sampel 3 (Karakter Goresan Vertikal Berulang): Sampel 3 merepresentasikan tantangan berupa tiga buah garis vertikal sejajar yang dominan dengan jarak antar-garis yang cukup rapat. Hasil akhir pada 3-Thin.bmp memperlihatkan bahwa proses pengikisan erosi terbimbing melaju secara simetris dari sisi kanan dan kiri secara seimbang. Hal ini menghasilkan garis rangka tengah (*centerline*) yang tegak lurus sempurna tanpa ada kecenderungan garis bergeser (*shifting*) ke salah satu arah dominan.

Sampel 7 dan 11 (Karakter Berstruktur Simetris dan Tegak): Karakter pada sampel 7 dan 11 didominasi oleh kombinasi garis tegak lurus dan sudut tajam. Implementasi algoritma pada sampel ini menunjukkan bahwa titik persimpangan (*junction*) dan sudut siku karakter tetap terjaga ketajamannya pada koordinat asli, tanpa mengalami efek pembulatan kontur (*rounding effect*) yang sering menjadi kelemahan pada operasi morfologi konvensional.

Sampel Baris Terakhir (Karakter Cetak Miring / Italic): Pengujian pada variasi karakter bebas di baris paling bawah yang memiliki struktur miring (*italic*) menunjukkan bahwa algoritma erosi terbimbing deteksi tepi ini bersifat independen terhadap orientasi sudut kemiringan tulisan. Karakter miring tetap berhasil ditipiskan secara konsisten mengikuti sumbu kemiringan asli objek tanpa mengalami distorsi bentuk atau patahan piksel (*aliasing*) yang ekstrem.

Contoh proses pada Gambar 1 menunjukkan bahwa Algoritma yang dirancang ini terbukti berhasil mencapai kondisi konvergen tepat pada tahapan iterasi ke-11. Dalam konteks pengolahan citra digital, pencapaian titik konvergen ini mengindikasikan bahwa algoritma telah berhasil mengekstrak bentuk kerangka (*skeleton*) objek yang paling minimal dan optimal dengan ketebalan satu piksel tunggal (*single-pixel thickness*). Ketika kondisi konvergen ini telah terpenuhi, sistem secara otomatis berada dalam keadaan stabil dan bersifat idempoten. Artinya, apabila iterasi dilanjutkan ke tahap ke-12 atau seterusnya, sistem tidak akan melakukan eliminasi piksel lagi karena seluruh kriteria eliminasi piksel tepi non-esensial telah terpenuhi secara penuh, sehingga citra keluaran yang dihasilkan akan tetap konstan dan sama persis dengan hasil pada iterasi ke-11.

Secara keseluruhan, visualisasi hasil uji ini menegaskan bahwa metode erosi terbimbing berbasis deteksi tepi 4-konektivitas berpusat negatif memiliki performa yang adaptif dan stabil dalam menangani berbagai variasi karakteristik morfologi, ketebalan, maupun orientasi guratan pada aksara Jawa.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengimplementasikan proses dasar morfologi thinning pada citra biner melalui metode erosi terbimbing berbasis deteksi tepi. Menggunakan penapis lolos atas 4-konektivitas dengan core negatif (-4) dan total koefisien nol, algoritma ini mampu memetakan piksel hitam objek terhadap piksel putih latar belakang secara akurat. Proses ekstraksi tepi dan pengikisan yang dilakukan secara iteratif pada citra karakter terbukti efektif menyusutkan objek secara bertahap.

Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2, batasan penghentian iterasi berbasis dimensi geometri tunggal berhasil menghasilkan luaran rangka (*skeleton*) yang presisi di tengah objek asal, konvergen, tajam, dan tetap mempertahankan konektivitas struktural asli citra karakter hitam.

SARAN

Penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada pengujian performa algoritma terhadap variasi derau (*noise*) tipe *salt-and-pepper* pada latar belakang putih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Mawaddah and N. Suciati, "Pengenalan Karakter Tulisan Tangan Menggunakan Ekstraksi Fitur Bentuk Berbasis Chain Code," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 7, no. 4, p. 683, Aug. 2020, doi: 10.25126/jtiik.2020742022.
- [2] M. Sudarma and N. Sutramiani, "The Thinning Zhang-Suen Application Method in the Image of Balinese Scripts on the Papyrus," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 91, Mar. 2014, doi: 10.5120/15844-4726.
- [3] N. Pertiwi, F. Shofi, E. Setijadi, and G. Hendranto, "Linear Array Thinning with Cavity backed U-slot Patch Antenna using Genetic Algorithm," vol. 5, no. January, pp. 9–16, 2021, doi: <https://doi.org/10.35472/jsat.v5i1.386>.
- [4] T. M. S. Mulyana, "Reduce noise in the binary image using non linear spatial filtering of mode," in *2016 International Conference on Information & Communication Technology and Systems (ICTS)*, IEEE, 2016, pp. 135–139. doi: 10.1109/ICTS.2016.7910287.
- [5] T. Y. Zhang and C. Y. Suen, "A fast parallel algorithm for thinning digital patterns," *Commun. ACM*, vol. 27, no. 3, pp. 236–239, Mar. 1984, doi: 10.1145/357994.358023.
- [6] S. S. C. Naga Raju, S.Naga Mani, G.Rakesh Prasad, "Morphological Edge Detection Algorithm Based on Multi-Structure Elements of Different Directions," *International Journal of Information and Communication Technology Research*, vol. 1, no. 1, pp. 37–43, 2011, [Online]. Available: <http://www.esjournals.org>
- [7] A. Makandar and B. Halalli, "Image Enhancement Techniques using Highpass and Lowpass Filters," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 109, no. 14, pp. 12–15, 2015, [Online]. Available: www.ijcaonline.org
- [8] P. Amoako-Yirekyi, J. K. Appati, and I. K. Dontwi, "Performance Analysis of Image Smoothing Techniques on a New Fractional Convolution Mask for Image Edge Detection," *Open Journal of Applied Sciences*, vol. 06, no. 07, pp. 478–488, 2016, doi: 10.4236/ojapps.2016.67048.
- [9] H. Sunandar, "Perbaikan kualitas Citra Menggunakan Metode Gaussian Filter," *MEANS (Media Informasi Analisa dan Sistem)*, vol. 2, no. 1, pp. 19–22, 2017, doi: 10.54367/means.v2i1.18.
- [10] L. kabai, A. Sghaier, A. Douik, and M. Machhout, "FPGA implementation of filtered image using 2D Gaussian filter," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 7, no. 7, pp. 514–520, 2016, doi: 10.14569/ijacsa.2016.070771.
- [11] T. M. S. Mulyana and Herlina, "Evenly brightening using kurtosis Gaussian pattern to simplify image binarization," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1397, no. 1, p. 012076, Dec. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1397/1/012076.
- [12] C. Science and S. Engineering, "An Evolutionary Approach of Hand X-Ray Image Enhancement Using High Pass and Low Pass Filtering Techniques," vol. 2, no. 3, pp. 453–456, 2012.
- [13] R. Sejal and P. Mitul, "Removal of the Fog from the Image Using Filters and Colour Model," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 553–557, 2014.

- [14] T. M. S. Mulyana, “EFEK HIGH PASS FILTERING DENGAN KOEFESIEN NOL PADA CITRA BINER,” *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan*, vol. 1, no. 1, May 2017, doi: 10.24912/jmstkik.v1i1.394.
- [15] T. M. S. Mulyana, D. Widyaningrum, and H. Herlina, “OCR HURUF JAWA DENGAN FITUR KODE RANTAI DAN LEVENSHTTEIN DISTANCE,” *Network Engineering Research Operation*, vol. 6, no. 1, p. 67, Apr. 2021, doi: 10.21107/nero.v6i1.217.
- [16] Z. Shareef, S. Hussain, and M. Darus, “Convolution operators in the geometric function theory,” *J. Inequal. Appl.*, pp. 1–11, 2012, doi: 1029-242X-2012-213.
- [17] T. M. S. Mulyana, D. Widyaningrum, J. A. Ginting, and T. L. S. Mulyana, “Building Drawing Line Art with High Pass Filtering and Image Morphology,” *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, vol. 5, no. 7, pp. 66–70, Jul. 2022, [Online]. Available: <https://www.journals.resaim.com/ijresm/article/view/2282>