



# JITE (Journal of Informatics and Telecommunication Engineering)

Available online <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jite> DOI : 10.31289/jite.v9i1.15433

Received: 26-June-2025

Accepted: 18-July-2025

Published: 28-July-2025

## Implementation of 4-Directional Depth First Search and Projection Profile for Javanese Manuscript Image Segmentation

Gerardus Kristha Bayu Indraputra 1)\*, Anastasia Rita Widiarti 2)

1,2) Prodi Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma, Indonesia

\*Corresponding Email: [g.kristhabayu1.0@gmail.com](mailto:g.kristhabayu1.0@gmail.com)

### Abstrak

Proses digitalisasi manuskrip beraksara Jawa masih menghadapi tantangan, salah satunya di tahap segmentasi manuskrip karena adanya bagian-bagian aksara yang saling tumpang tindih. Tahap ini berperan penting memisahkan elemen-elemen manuskrip, seperti baris dan aksara, yang menjadi dasar dalam proses alih aksara. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas metode *Projection Profile* (PP) dan *Four Directional Depth First Search* (4 DDFS) dalam segmentasi manuskrip tulisan tangan beraksara Jawa. PP digunakan untuk segmentasi baris dengan nilai parameter  $\sigma$  optimal sebesar 20, sedangkan 4 DDFS digunakan untuk mencari piksel-piksel yang saling terhubung dalam proses segmentasi aksara. Sebanyak 20 citra halaman hasil pemindaian dari buku "Serat Pratanda" dan "Serat Primbon Reracikan Jampi Jawi", diambil secara acak dan digunakan sebagai data. Setiap citra mengalami proses *preprocessing* awal berupa konversi ke *grayscale* dan binarisasi, kemudian setiap naskah diberikan dua perlakuan, yaitu dengan dan tanpa *preprocessing* lanjut sebelum disegmentasi. *Preprocessing* lanjut menggunakan parameter optimal berdasarkan hasil skenario pengujian sebelumnya, yaitu median filter dengan ukuran *kernel* 5 dan *cropping* dengan *padding* 10%. Hasil percobaan menunjukkan akurasi segmentasi baris mencapai 100% pada kedua perlakuan. Akurasi segmentasi aksara terbaik mencapai 91,02% dengan *preprocessing* lanjut. Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi PP dan 4DDFS merupakan metode yang efektif untuk segmentasi manuskrip beraksara Jawa.

**Kata Kunci:** Segmentasi, Citra Manuskrip, *Projection Profile*, *Four Directional Depth First Search*

### Abstract

The digitization of Javanese script manuscripts still faces several challenges, particularly in the segmentation stage due to overlapping character parts. This stage plays a crucial role in separating manuscript elements such as lines and characters, which form the foundation for transliteration processes. This study aims to evaluate the effectiveness of the *Projection Profile* (PP) and *Four Directional Depth First Search* (4 DDFS) methods in segmenting handwritten Javanese script manuscripts. PP is used for line segmentation with an optimal  $\sigma$  value of 20, while 4 DDFS is used to detect connected pixels during character segmentation. A total of 20 scanned manuscript pages were randomly selected from the books *Serat Pratanda* and *Serat Primbon Reracikan Jampi Jawi* as the dataset. Each image underwent initial preprocessing in the form of grayscale conversion and binarization, followed by two treatments: with and without additional preprocessing before segmentation. The additional preprocessing applied the optimal parameters determined from previous test scenarios, namely a median filter with a kernel size of 5 and cropping with 10% padding. The experimental results showed that line segmentation achieved 100% accuracy for both treatments, while the best character segmentation accuracy reached 91.02% with additional preprocessing. These findings demonstrate that the combination of PP and 4-DDFS is an effective method for segmenting Javanese script manuscripts.

**Keywords:** Segmentation, Manuscript Image, *Projection Profile*, *Four Directional Depth First Search*

**How to Cite:** Indraputra, G.K.I. & Widiarti, A.R. (2025). Implementation of 4-Directional Depth First Search and Projection Profile for Javanese Manuscript Image Segmentation. *JITE (Journal Of Informatics And Telecommunication Engineering)*. 9 (1): 218-228

## I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki keragaman kekayaan bahasa dan aksara. Dari 718 bahasa daerah yang telah tervalidasi, salah satu warisan budaya yang memiliki nilai historis tinggi adalah Bahasa Jawa. Bahasa Jawa yang ditulis menggunakan aksara Jawa telah digunakan untuk mendokumentasikan berbagai informasi dan

pengetahuan yang dituliskan ke dalam manuskrip, misalnya mengenai kegiatan adat, kepercayaan, hingga sastra klasik (Hardyanto, 2023; Sulaiman & Mulyana, 2023; Susanto et al., 2023).

Salah satu tempat yang menyimpan kekayaan manuskrip beraksara Jawa adalah Museum Sonobudoyo Yogyakarta, yang menyimpan lebih dari 1.178 manuskrip kuno, baik dari lontar maupun kertas (Ayu, 2019). Sayangnya, banyak manuskrip tersebut telah mengalami kerusakan seiring waktu karena media yang digunakan dan cara penyimpanan yang kurang baik (Nugraha & Laugu, 2021). Maka, digitalisasi menjadi langkah penting dalam pelestarian, sekaligus hasilnya dapat dimanfaatkan untuk mempermudah akses maupun kepentingan lain misalnya untuk kepentingan para filolog (Wara Merdeka, 2022).

Tahapan penting dalam digitalisasi manuskrip adalah segmentasi citra, yaitu proses memisahkan elemen seperti baris-baris dan aksara-aksaranya. Namun, segmentasi manuskrip tulisan tangan beraksara Jawa masih menjadi tantangan besar, karena bentuk aksara yang kompleks, penulisan aksara yang saling berdekatan, serta ketidakteraturan gaya tulisan tangan.

*Projection Profile* (PP) merupakan salah satu pendekatan yang kerap diterapkan dalam segmentasi maupun alih citra suatu manuskrip yang dituliskan dalam berbagai aksara. PP telah berhasil digunakan untuk segmentasi manuskrip aksara Kannada dengan akurasi mencapai 92,6% (Shakunthala B. S et al., 2024). Dalam upaya segmentasi manuskrip beraksara Jawa, mencapai akurasi 93,88% (Mahastama & Krisnawati, 2020), dan juga mendapatkan hasil yang menjanjikan untuk segmentasi garis di manuskrip Arab historis (Alghamdi et al., 2021). Metode *horizontal projection* (HP) yang merupakan bagian dari PP, juga berhasil digunakan untuk segmentasi baris pada dokumen Malayan dengan akurasi sebesar 85,5% (P V & Sankar, 2023). Namun, PP menghadapi tantangan dengan segmentasi aksara terutama karena adanya bagian dari aksara yang tumpang tindih (Alghamdi et al., 2021; Mahastama & Krisnawati, 2020).

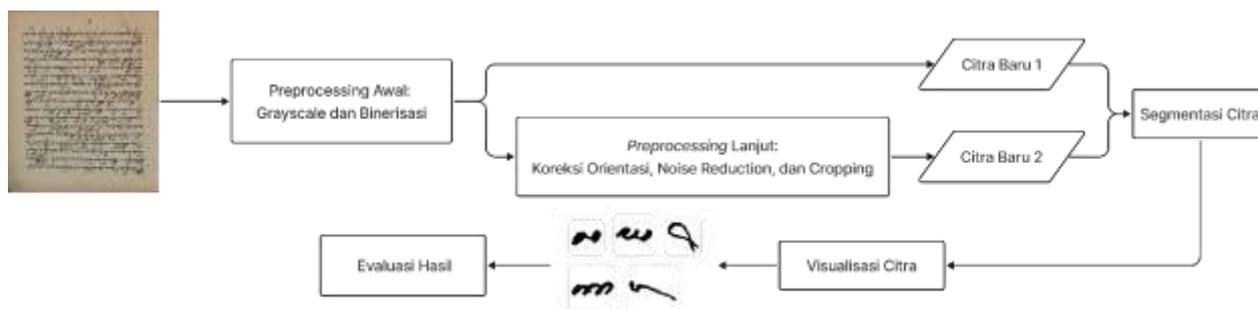
Untuk meningkatkan keberhasilan segmentasi maupun pengenalan aksara, beberapa penelitian telah menggabungkan PP dengan teknik lain seperti pelabelan komponen terhubung, mencapai akurasi 90% untuk karakter tulisan tangan Jawa (Ilham & Rochmawati, 2020a). Untuk proses pengenalan aksara lainnya, pendekatan seperti pengklasifikasi centroid terdekat dan jaringan saraf konvolusional telah diterapkan, dengan hasil yang bervariasi (Ilham & Rochmawati, 2020b; Mahastama & Krisnawati, 2020). Sebuah studi terbaru tentang pengenalan aksara Lampung menggunakan fitur PP (*horizontal, vertikal, dan gabungan*) dengan algoritma klasifikasi K-Nearest Neighbors, mencapai akurasi 86,23% (Junaidi et al., 2024).

Khusus untuk proses segmentasi, Sandyal dan Chandrappa menggunakan *contour tracing* dan *horizontal projection profile* (HPP) memperoleh akurasi segmentasi baris dan kata sebesar 92,6% pada manuskrip Kannada (Sandyal & Chandrappa, 2023). PP dikombinasikan dengan *seam carving* dan *contour tracing* untuk segmentasi manuskrip tulisan tangan Bangla (Das & Panda, 2023). PP dikombinasikan dengan Hidden Markov Model (HMM) digunakan oleh Ganai dan Koul untuk segmentasi ligatur aksara Urdu, dengan persentase keberhasilan sebesar 91,3% (Ganai & Koul, 2016).

Mencermati hasil penelitian segmentasi dikaitkan dengan hasil pencermatan manuskrip beraksara Jawa di mana terdapat banyak aksara yang tumpang tindih pada beberapa bagian dengan adanya pasangan dan sandangan, maka perlu dikembangkan suatu cara untuk menelusuri jejak dari setiap aksaranya. Dengan demikian, bagian aksara yang berada di wilayah aksara lain dapat diketemukan. Thongkanhorn dengan upaya penelitian memanfaatkan metode *Four Directional Depth First Search* (4 DDFS) berhasil melakukan segmentasi aksara Thai tulisan tangan dengan akurasi 90,76% (Thongkanhorn et al., 2019). Upaya Thongkanhorn, memanfaatkan keterhubungan 4 titik dalam citra, dan prinsip DFS dalam cara penelusuran keterhubungan tersebut memunculkan harapan bahwa metode tersebut apabila dikombinasikan dengan proses PP akan mampu mengoptimalkan hasil segmentasi. Kontribusi dari penelitian ini diharapkan dapat menyediakan pendekatan segmentasi yang andal sebagai dasar pengembangan sistem alih aksara otomatis berbasis citra, sekaligus memperkaya studi komputasional dalam pelestarian naskah-naskah tradisional nusantara.

## II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, dilakukan beberapa tahapan, yaitu meliputi *preprocessing* awal, *preprocessing lanjut* dan tanpa *preprocessing lanjut*, segmentasi citra, visualisasi citra serta pengujian dan evaluasi hasil, seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

Data yang diolah adalah citra manuskrip beraksara Jawa tulisan tangan, dari hasil pemindaian. Proses pertama adalah *grayscale* (Khudhair et al., 2023) dan binerisasi (Sauvola & Pietikäinen, 2000) yang dikemas menjadi tahap *preprocessing awal*. Terdapat 2 langkah berbeda selanjutnya, yaitu langsung dilakukan segmentasi atau diproses lebih lanjut sebelum disegmentasi. Proses lanjut yang dilakukan terdiri dari koreksi orientasi (Manjunath et al., 2008; Ramanan, 2019), *noise reduction*, dan *cropping* bagian kosong di tepi-tepi citra (Gonzalez & Woods, 2019). Langkah berikutnya adalah visualisasi citra untuk mendapatkan potongan objek aksara hasil segmentasi, dan hasilnya kemudian dievaluasi untuk menemukan akurasi segmentasinya.

### A. Data

Data yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan parameter terbaik dalam proses segmentasi, diambilkan dari sampel halaman buku “Serat Pratanda” dan buku “Serat Primbon Reracikan Jampi Jawi”. Kedua buku tersebut dipilih karena merupakan salah satu dari sedikit sumber primer yang tersedia secara fisik di perpustakaan Universitas Sanata Dharma (USD), sehingga memungkinkan akses langsung terhadap isi dokumen tanpa keterbatasan digitalisasi atau hak akses. Dari kedua buku tersebut, diambil masing-masing 10 halaman secara acak. Contoh data citra yang digunakan dapat diamati pada Gambar 2.



Gambar 2. Sampel Data (a) buku "Serat Pratanda", (b) buku "Serat Primbon Reracikan Jampi Jawi"

### B. Segmentasi

Segmentasi citra meliputi dua tahap yaitu segmentasi baris dan segmentasi objek aksara. Rangkaian proses pada tahap ini diuraikan sebagai berikut.

#### 1. Segmentasi Baris

Tahap segmentasi baris yaitu pemotongan setiap baris aksara dilakukan dengan metode *Projection Profile*. Tujuan dari tahap ini yaitu didapatkannya pasangan koordinat indeks baris awal dan indeks baris terakhir pada setiap barisnya. Proses deteksi baris menggunakan *Horizontal Projection Profile* (HPP), yang akan menghitung jumlah piksel hitam pada setiap baris citra menggunakan persamaan (3) (Das & Panda, 2023).

$$HPP_j = \sum_{x=0}^{W-1} I(i, j) \quad (3)$$

Keterangan:

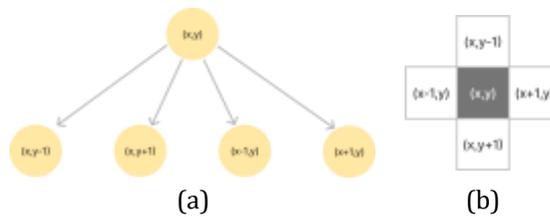
$HPP_j$  = Representasi HPP pada indeks baris ke- $j$   
 $W$  = Nilai lebar dari citra

$I(x, y)$  = Nilai intensitas piksel posisi  $(x, y)$

Hasil dari tahap ini adalah didapatkan data dalam bentuk grafik HPP yang menunjukkan *peak* dan *valley* dari sebuah citra. Kemudian dilakukan *smoothing* HPP menggunakan *Gaussian* filter dengan nilai *sigma* yaitu 20, untuk memaksimalkan hasil segmentasi. Nilai *sigma* yang digunakan juga diperoleh dari percobaan-percobaan sebelumnya. *Valley* pada sebuah citra akan menjadi penanda sebagai titik pemotongan baris, karena titik tersebut menandakan area yang tidak memiliki objek aksara. Hasil dari tahap ini akan digunakan untuk sebagai batas area segmentasi dan pelabelan baris dari objek aksara tersebut.

## 2. Segmentasi Objek Aksara

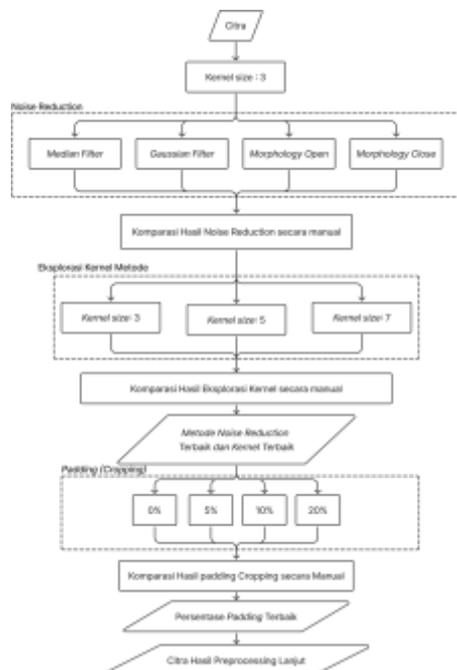
Segmentasi objek aksara merupakan tahap pemotongan setiap objek aksara. Dalam tahap ini digunakan metode *Four Directional Depth First Search* (4 DDFS). Metode 4 DDFS akan mencari anggota atau piksel yang merupakan sebuah objek hingga ke ujung, dan setelah itu berpindah arah pencariannya. Pencarian piksel anggota menggunakan 4 arah yaitu atas  $(x, y-1)$ , bawah  $(x, y+1)$ , kanan  $(x+1, y)$ , dan kiri  $(x-1, y)$  (Thongkanchorn et al., 2019). Dengan memanfaatkan hasil segmentasi baris yaitu batas baris awal dan baris terakhir menjadi area pencarian objek metode ini. Sehingga didapatkan koordinat-koordinat piksel yang merupakan objek aksara. Ilustrasi pencarian 4 arah dapat diamati pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi: (a) 4 DDFS, (b) Ketetanggaan Piksel

## C. Skenario Pengujian

Untuk memperoleh konfigurasi parameter terbaik, digunakan pendekatan eksploratif dengan mencoba berbagai kombinasi nilai parameter secara sistematis. Hasil dari setiap konfigurasi dicatat dan dibandingkan berdasarkan nilai akurasinya. Bagian ini akan memaparkan skenario-skenario pengujian, seperti ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Skenario pengujian 1

Parameter pertama yang dicari adalah metode *noise reduction* yang paling optimal. Untuk keperluan ini, ukuran *kernel* awal telah ditetapkan sebesar 3. Setelah algoritma *noise reduction* yang optimal ditemukan, pencarian dilanjutkan untuk menentukan ukuran *kernel* yang paling sesuai, yaitu antara 3, 5, atau 7. Parameter ketiga yang diuji adalah ukuran padding untuk proses *cropping*, dengan variasi sebesar 0%, 5%, 10%, dan 20%.

Pada skenario pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 5, dilakukan pencarian nilai sigma yang optimal saat menerapkan *projection profile* (PP), dengan nilai sigma yang digunakan adalah 10, 20, dan 30.



Gambar 5. Skenario pengujian 2

#### D. Evaluasi Hasil

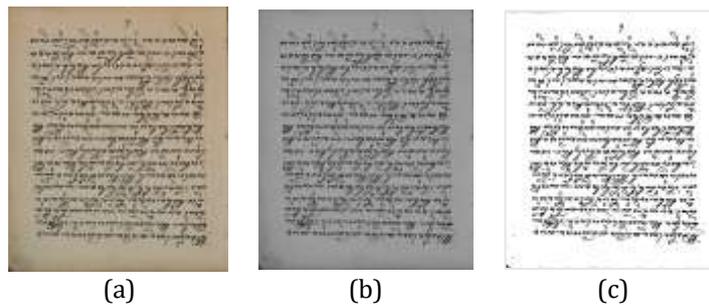
Evaluasi hasil dilakukan dengan menghitung akurasi kebenaran segmentasi citra, yaitu membandingkan hasil citra yang tersegmentasi benar dan utuh dengan perhitungannya manualnya. Perhitungan akurasi menggunakan persamaan (3).

$$\text{Persentase kebenaran} = \frac{\text{Jumlah data benar hasil segmentasi}}{\text{Jumlah data citra asli}} \times 100\% \quad (3)$$

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Preprocessing Awal

Proses awal dalam pengolahan citra dimulai dengan konversi citra berwarna menjadi citra *grayscale*. Citra manuskrip “Serat Pratanda” pada Gambar 6(a) merupakan citra asli yang masih mengandung informasi warna dalam tiga saluran (RGB), sebagaimana ditampilkan pada informasi dimensi citra di bawah gambar. Selanjutnya, Gambar 6(b) menunjukkan hasil konversi ke *grayscale*, di mana citra telah diubah menjadi skala keabuan sehingga hanya memiliki satu saluran warna.



Gambar 6. Hasil *Preprocessing* Awal, (a) Citra Asli, (b) Citra *Grayscale*, dan (c) Citra Biner

Setelah proses *grayscale*, dilakukan tahap binerisasi menggunakan metode Sauvola dengan parameter *window\_size* yaitu 75 dan *k* yaitu 0.2 (nilai *default*). Hasil binerisasi ditunjukkan pada Gambar 6(c), di mana citra telah berubah menjadi citra hitam-putih yang menampilkan aksara Jawa dengan kontras tinggi terhadap latar belakangnya.

#### B. Hasil Pengujian Parameter

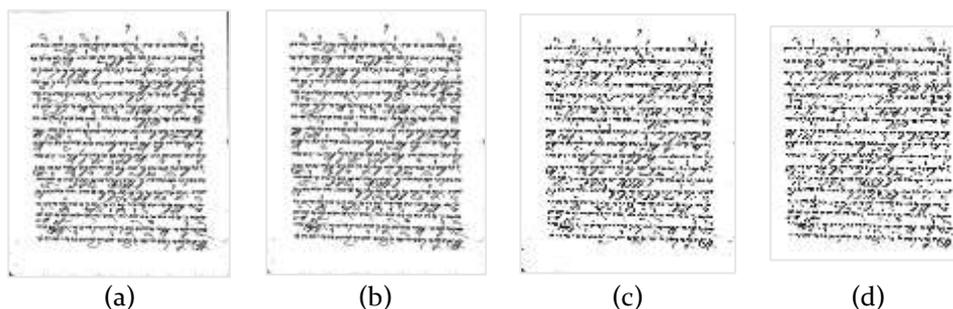
Berdasarkan skenario pengujian yang telah dilakukan pada masing-masing tahap, diperoleh konfigurasi parameter terbaik yang akan diterapkan dalam proses *preprocessing* lanjut dan segmentasi baris. Parameter yang akan digunakan dan contoh hasilnya dapat diamat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Parameter

Tahap	Parameter Terbaik
Noise Reduction	Median Filter, ukuran kernel = 5x5
Cropping	Persentase padding = 10%
Segmentasi Baris (HPP)	Nilai sigma = 20

### C. Preprocessing Lanjut

Tahap *preprocessing* lanjut dilakukan untuk meningkatkan kualitas citra hasil *preprocessing* awal, yang ditampilkan pada Gambar 7(a). *Preprocessing* ini bertujuan untuk menghasilkan citra yang lebih bersih, tegak lurus, dan efisien secara ruang, sehingga dapat mendukung kinerja algoritma segmentasi pada tahap berikutnya. Parameter-parameter yang digunakan dalam *preprocessing* lanjut mengacu pada hasil pengujian parameter dan diterapkan pada seluru citra.



Gambar 7. Hasil *Preprocessing* Lanjut : (a) Citra Hasil *Preprocessing* Awal, (b) Citra Hasil Koreksi Orientasi, (c) Citra Hasil *Noise Reduction*, (d) Citra Hasil *Cropping*

Langkah pertama pada tahap *preprocessing* lanjut adalah koreksi orientasi, yaitu merotasi citra untuk memperbaiki kemiringan teks berdasarkan nilai sudut ( $\theta$ ) yang terdeteksi. Sebagai contoh, pada citra manuskrip “Serat Pratanda” halaman 9, ditemukan nilai rotasi sebesar 0.6252 derajat. Hasil koreksi ini ditampilkan pada Gambar 7(b), yang menunjukkan posisi teks menjadi lebih tegak dibandingkan sebelumnya.

Selanjutnya, dilakukan *noise reduction* menggunakan median filter dengan ukuran *kernel* 5x5 untuk mengurangi gangguan visual tanpa menghilangkan detail aksara. Hasilnya terlihat lebih bersih seperti pada Gambar 7(c). Terakhir, tahap *cropping* dilakukan untuk membuang area kosong di sekitar tepi citra dengan tambahan *padding* sebesar 10%. *Padding* ini penting agar objek aksara tidak terlalu dekat dengan tepi atau terpotong. Hasil akhir setelah proses *cropping* ditampilkan pada Gambar 7(d).

### D. Segmentasi Citra

Mempergunakan temuan parameter optimal, selanjutnya dilakukan tahap inti yaitu segmentasi baris dan segmentasi objek aksara. Hasil tahap segmentasi baris dengan metode HPP berupa pasangan indeks baris pada setiap halaman citra. Pasangan indeks ini terdiri dari indeks awal dan indeks akhir dari masing-masing baris aksara. Contoh hasil segmentasi ditampilkan pada Tabel 2, yang menunjukkan rentang indeks baris dari citra manuskrip “Serat Pratanda” (5 baris teratas). Pada baris pertama, misalnya, indeks yang dihasilkan berada pada rentang 0 hingga 56, menandakan indeks dari baris aksara pertama dalam citra. Hasil ini menunjukkan bahwa metode *projection profile* berhasil mengidentifikasi batas atas dan bawah dari masing-masing baris aksara.

Tabel 2. Contoh Hasil Segmentasi Baris

Baris	Hasil HPP		Segmentasi Baris
	Indeks Awal Baris	Indeks Akhir Baris	
1	0	56	
2	56	689	
3	689	441	
4	441	528	

Baris	Hasil HPP		Segmentasi Baris
	Indeks Awal Baris	Indeks Akhir Baris	
5	528	642	

Setelah indeks baris-baris citra diperoleh, proses selanjutnya adalah segmentasi objek aksara dengan metode 4 DDFS. Pada tahap ini, area citra yang menjadi ruang pencarian objek dibatasi hanya pada rentang antara baris pertama hingga baris terakhir hasil segmentasi baris. Pembatasan ini bertujuan untuk mempersempit ruang pencarian hanya pada bagian citra yang relevan, sehingga proses deteksi objek aksara menjadi lebih efisien dan akurat.

Proses segmentasi objek aksara dilakukan menggunakan metode 4 DDFS. Metode ini berhasil mendeteksi kumpulan piksel hitam yang membentuk masing-masing objek aksara pada citra. Setiap objek direpresentasikan sebagai sekumpulan koordinat piksel dalam format  $(x, y)$ , di mana  $x$  menunjukkan posisi baris dan  $y$  posisi kolom pada citra.

Masih dengan contoh citra yang sama yaitu "Serat Pratanda", ditemukan objek-objek aksara pada citra manuskrip tersebut. Salah satu objek yang ditemukan, memiliki piksel pada koordinat baris ke-15 dan kolom ke-1058, seperti ditunjukkan pada Tabel 3 (4 objek teratas). Hal ini menunjukkan bahwa metode segmentasi mampu mengenali struktur spasial dari masing-masing aksara dalam batas area yang telah ditentukan sebelumnya.

Tabel 3. Contoh Hasil 4 DDFS

Objek	Koordinat Piksel Objek
1	(15, 1058), (15, 1059), (15, 1060), (16, 1060...
2	(97, 1575), (97, 1576), (97, 1577), (97, 1578...
3	(100, 225), (100, 226), (100, 227), (100, 228...
4	(120, 408), (120, 409), (120, 410), (120, 411...

### E. Visualisasi Citra

Tahap visualisasi citra dimulai dengan pemberian label baris pada setiap objek hasil segmentasi objek aksara. Pelabelan dilakukan berdasarkan batas baris hasil segmentasi, dengan menentukan di baris mana mayoritas piksel objek berada. Misalnya, salah satu piksel objek 1 pada citra "Serat Pratanda" hasil *preprocessing* lanjut berada pada baris 15 dan kolom 1058, sedangkan baris 1 berada pada rentang baris 0–56, sehingga objek 1 diberi label baris 1. Pelabelan ini diterapkan per objek, yang diambil dari label koordinat piksel objek terbanyak berada pada baris tersebut. Selanjutnya, dilakukan visualisasi dengan memotong objek dari citra sesuai koordinat hasil segmentasi. Contoh sebagian hasil visualisasi pada Citra "Serat Pratanda" ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Proses Visualisasi Citra

### F. Evaluasi Hasil

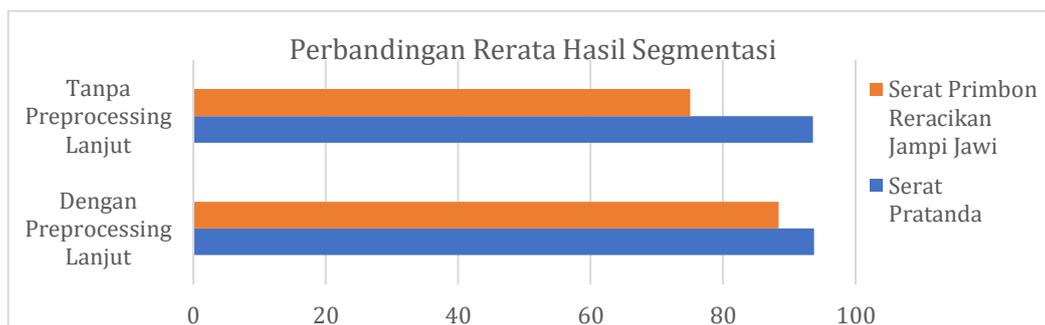
Evaluasi hasil dilakukan untuk menilai kemampuan metode dalam melakukan segmentasi, dalam hal ini dilakukan perbandingan hasil kebenaran segmentasi dengan perhitungan manualnya. Proses perbandingan dilakukan untuk semua hasil segmentasi di semua halaman dan semua perlakuan.

Berdasarkan hasil evaluasi yang dilakukan, metode PP mampu melakukan segmentasi baris dengan sangat baik pada semua perlakuan (baik dengan *preprocessing* lanjut maupun tanpa *preprocessing* lanjut), yaitu diperoleh nilai rata-rata akurasi sebesar 100%. Pada citra "Serat Pratanda" yang seluruhnya terdiri dari 18 baris dan citra "Serat Primbon Reracikan Jampi Jawi" yang terdiri dari 19, seluruh barisnya dapat terdeteksi dan tersegmentasi. Dari data akurasi segmentasi baris tersebut, diperoleh informasi bahwa *preprocessing lanjut* tidak terlalu berpengaruh pada proses segmentasi baris.

Pada metode 4 DDFS juga dapat dikatakan berhasil melakukan segmentasi objek aksara (lihat Tabel 4 dan Gambar 9). Jika dilakukan perhitungan rerata akurasi segmentasi objek pada citra “Serat Pratanda” di atas 90%, baik dengan *preprocessing* lanjut maupun tidak, menunjukkan akurasi yang tinggi. Sementara pada citra “Serat Primbon Reracikan Jampi Jawi”, rerata akurasi dengan kedua perlakuan mempunyai nilai akurasi di bawah 90%. Bahkan, jika tidak dilakukan *preprocessing* lanjut menunjukkan penurunan kinerja metode, yaitu sebesar 13.32%. Hasil segmentasi ini, terjadi karena kondisi citra “Serat Primbon Reracikan Jampi Jawi” relatif lebih buruk. Perbedaan hasil tersebut, mengindikasikan bahwa penerapan *preprocessing* lanjutan memberikan dampak positif terhadap peningkatan akurasi segmentasi, terutama pada citra dengan kualitas rendah atau banyak gangguan visual.

Tabel 4. Hasil Evaluasi Metode Segmentasi

Halaman Manuskrip	Jumlah Objek Terhitung	Jumlah Hasil Segmentasi Benar	Akurasi (%)	
			Dengan <i>Preproceesing</i> lanjut	Tanpa <i>Preproceesing</i> lanjut
“Serat Pratanda”				
9	452	441	97.57	96.90
25	450	431	95.78	94.67
33	508	483	95.08	94.69
45	444	416	93.69	94.59
77	486	447	91.98	91.77
96	466	426	91.42	92.27
111	488	448	91.80	91.39
119	490	444	90.61	90.00
301	450	424	94.22	94.00
319	438	415	94.75	95.21
“Serat Primbon Reracikan Jampi Jawi”				
4	468	437	93.38	64.10
16	424	368	86.79	77.36
26	446	438	98.21	82.96
29	426	400	93.90	78.87
30	410	359	87.56	76.83
34	392	361	92.09	79.08
58	372	299	80.38	70.70
151	520	433	83.27	75.58
185	462	378	81.82	74.03
202	494	425	86.03	70.65



Gambar 9. Grafik Perbandingan Hasil Rerata Akurasi

Disamping keberhasilan tersebut, beberapa kesalahan segmentasi juga muncul akibat tingkat *noise* yang tinggi, dalam hal ini mungkin diperlukan pendekatan *preprocessing* lanjutan yang lebih kompleks atau spesifik sesuai kondisi citra. Contoh ketidakbenaran segmentasi yang ditemukan, dalam penelitian ini adanya *under-segmentation* dan *over-segmentation*. Gambar 10(a), menunjukkan potongan citra asli yang mengandung kesalahan *over-segmentation* pada area kotak merah. Objek yang seharusnya berjumlah 4, terlihat pada Gambar 10(b) objek aksara yang tersegmentasi menjadi 9 objek.

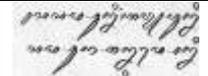
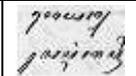
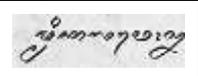
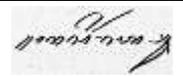
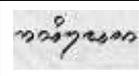


Gambar 10. Contoh *Over-segmentation* objek aksara: (a) Potongan citra asli, (b) Hasil segmentasi objek aksara yang terpisah.

### G. Validasi Metode Segmentasi pada Manuskrip Berbeda

Sebagai upaya untuk memvalidasi dan menegaskan bahwa alur *preprocessing* dan metode segmentasi yang telah digunakan mampu bekerja secara konsisten pada data lain, dilakukan pengujian lanjutan terhadap manuskrip “Sasradiningrat kepada Residen Surakarta”. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi model segmentasi citra yang telah ditemukan pada saat diterapkan ke manuskrip yang berbeda dari data uji sebelumnya. Sebanyak lima halaman naskah dipilih secara acak, kemudian dipotong menjadi beberapa bagian seperti terlihat representasinya di Tabel 5, untuk memudahkan pelacakan saat mengevaluasi hasil pengujian.

Tabel 5. Hasil Uji Validasi Metode pada Manuskrip Berbeda

Potongan Naskah					
Akurasi (%)	88	91.67	100	100	100

Dari hasil pengujian (Tabel 5), tiga dari lima potongan citra mencapai akurasi 100%, menandakan seluruh karakter berhasil disegmentasi dengan benar. Dua potongan lainnya mencatat akurasi 91,67% dan 88%, dipengaruhi oleh kedekatan antaraksara, bentuk huruf yang tidak konsisten, serta noise pada citra. Hasil ini menunjukkan bahwa metode segmentasi bekerja dengan sangat baik secara umum, dengan akurasi tinggi dan toleransi terhadap variasi bentuk manuskrip. Validasi ini turut memperkuat potensi metode untuk diterapkan lebih luas, meskipun tetap diperlukan penyempurnaan untuk menghadapi kondisi citra yang lebih kompleks.

### H. Analisis Hasil Pengujian Model Segmentasi

Berdasarkan pada manuskrip yang menjadi data dalam penelitian ini, dapat ditemukan bahwa keberhasilan penelitian ini tetap tergantung pada kondisi asli manuskrip sebelum didigitalisasi. Manuskrip yang digunakan umumnya masih dalam kondisi baik, sehingga hasil segmentasi belum tentu berlaku untuk naskah yang rusak, seperti yang berlubang atau bernoda. Pendekatan ini juga terbatas pada aksara Jawa dan belum diuji pada aksara daerah lain dengan struktur berbeda.

Menilik hasil segmentasi, penelitian ini sejalan dengan hasil segmentasi baris oleh Mahastama dan Krisnawati (2020), yaitu bahwa metode *Projection Profile* (PP) efektif untuk segmentasi baris. Berbeda dengan penelitian ini, PP dikombinasikan dengan 4 DDFS untuk mengatasi tumpang tindih aksara akibat *pasangan* dan *sandhangan*. Hasil dari kombinasi keduanya telah menunjukkan pentingnya strategi penelusuran piksel untuk menangani aksara bertumpuk, sehingga diharapkan model yang ditemukan berpotensi untuk diaplikasikan pada manuskrip beraksara daerah lainnya yang barangkali banyak sekali terdapat di Indonesia.

## IV. SIMPULAN

Metode *Four Directional Depth First Search* (4 DDFS) dan *Projection Profile* (PP) berhasil dalam melakukan segmentasi citra manuskrip aksara Jawa tulisan tangan. Dalam penelitian ini, keberhasilan tersebut didukung oleh *preprocessing* lanjut yang menerapkan *noise reduction* dengan metode *Median filtering* dengan ukuran *kernel* 5, dan ukuran *padding* 10% dalam proses *cropping*. Saat menerapkan metode PP diperoleh bahwa dengan nilai uji sigma sebesar 20, mencapai rata-rata akurasi segmentasi sebesar 100% untuk segmentasi baris, baik pada citra dengan *preprocessing* lanjut maupun tanpa *preprocessing* lanjut. Selanjutnya, dengan penerapan metode 4 DDFS diperoleh rata-rata akurasi segmentasi aksara sebesar 91,02%. Dalam kasus ini, untuk mengoptimalkan keberhasilan segmentasi dengan kombinasi PP dan 4 DDFS, *preprocessing* menjadi bagian penting dalam tahapannya.

## V. UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada LPPM USD atas dukungan dana untuk pengolahan data penelitian, seperti tertuang dalam kontrak penelitian PROGRAM PENELITIAN SKEMA PENELITIAN TEMA KHUSUS: SDG,s UNIVERSITAS SANATA DHARMA YOGYAKARTA (USD) TAHUN 2025 No.: 016 Penel./LPPM-USD/II 12025. Selain itu juga kami ucapkan terimakasih kepada Prodi Informatika USD yang telah memberikan dana untuk publikasi paper kami.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Alghamdi, A., Alluhaybi, D., Almeahmadi, D., Alameer, K., Siddeq, S. Bin, & Alsubait, T. (2021). Text Segmentation of Historical Arabic Handwritten Manuscripts Using Projection Profile. *Proceedings - 2021 IEEE 4th National Computing Colleges Conference, NCCC 2021*. <https://doi.org/10.1109/NCCC49330.2021.9428836>
- Ayu, D. G. (2019). *Koleksi Museum Negeri Sonobudoyo*. ISI Yogyakarta.
- Das, M., & Panda, M. (2023). Seam carving, horizontal projection profile and contour tracing for line and word segmentation of language independent handwritten documents. *Results in Engineering*, 18(September 2022), 101110. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101110>
- Ganai, A. F., & Koul, A. (2016). Projection profile based ligature segmentation of Nastaleeq Urdu OCR. *2016 4th International Symposium on Computational and Business Intelligence, ISCBI 2016*, 170–175. <https://doi.org/10.1109/ISCBI.2016.7743278>
- Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2019). Digital Image Fundamentals. In *A Guide for Machine Vision in Quality Control* (hal. 19–44). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781003002826-2>
- Hardyanto. (2023). *Sekretariat Kabinet Republik Indonesia | Merdeka Belajar untuk Revitalisasi Bahasa Daerah yang Terancam - Sekretariat Kabinet Republik Indonesia*. <https://setkab.go.id/merdeka-belajar-untuk-revitalisasi-bahasa-daerah-yang-terancam/> tanggal 17 Oktober 2024
- Ilham, F., & Rochmawati, N. (2020a). Transliterasi Aksara Jawa Tulisan Tangan ke Tulisan Latin Menggunakan CNN. *Journal of Informatics and Computer Science (JINACS)*, 1(04), 200–208. <https://doi.org/10.26740/jinacs.v1n04.p200-208>
- Ilham, F., & Rochmawati, N. (2020b). Transliterasi Aksara Jawa Tulisan Tangan ke Tulisan Latin Menggunakan CNN. *Journal of Informatics and Computer Science (JINACS)*, 1(04), 200–208. <https://doi.org/10.26740/jinacs.v1n04.p200-208>
- Junaidi, A., Yunani, R., & Ardiansyah, A. (2024). Implementasi Projection Profile dan K-Nearest Neighbors dalam Pengenalan Tulisan Karakter Aksara Lampung. *Jurnal Pepadun*, 5(3), 249–261. <https://doi.org/10.23960/pepadun.v5i3.241>
- Khudhair, Z. N., Khdiar, A. N., El Abbadi, N. K., Mohamed, F., Saba, T., Alamri, F. S., & Rehman, A. (2023). Color to Grayscale Image Conversion Based on Singular Value Decomposition. *IEEE Access*, 11(May), 54629–54638. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3279734>
- Mahastama, A. W., & Krisnawati, L. D. (2020). *Optical Character Recognition for Printed Javanese Script using Projection Profile Segmentation and Nearest Centroid Classifier*. 129.
- Manjunath, A. V. N., Hemantha, K. G., & Noushath, S. (2008). Document skew detection - A novel approach. *International Journal of Image and Graphics*, 8(1), 47–59. <https://doi.org/10.1142/S0219467808002964>
- Nugraha, H. C., & Laugu, N. (2021). Pelestarian Naskah Kuno dalam Upaya Menjaga Warisan Budaya Bangsa di Perpustakaan Museum Dewantara Kirti Griya Tamansiswa Yogyakarta. *Lentera Pustaka: Jurnal Kajian Ilmu Perpustakaan, Informasi dan Kearsipan*, 7(1), 105–120. <https://doi.org/10.14710/lenpust.v7i1.37694>
- P V, P., & Sankar, D. (2023). Handwriting-Based Text Line Segmentation from Malayalam Documents. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(17). <https://doi.org/10.3390/app13179712>
- Ramanan, M. (2019). A Hybrid Approach for Skew Detection and Correction in the Multi-script Scanned Document. *Asian Journal of Research in Computer Science*, 1–8. <https://doi.org/10.9734/ajrcos/2019/v4i230112>
- Sandyal, K. S., & Chandrappa, K. Y. (2023). Segmentation approach for offline handwritten Kannada scripts. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 31(1), 521–530. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v31.i1.pp521-530>
- Sauvola, J., & Pietikäinen, M. (2000). Adaptive document image binarization. *Pattern Recognition*, 33(2), 225–236. [https://doi.org/10.1016/S0031-3203\(99\)00055-2](https://doi.org/10.1016/S0031-3203(99)00055-2)

- Shakunthala B. S, Ullas H. S, & Pillai C. S. (2024). Recognition of Off-Line Handwritten Kannada Words Using Enhanced Skew Detection and Correction Method. *ACS Journal for Science and Engineering*, 3(S1), 17–28. <https://doi.org/10.34293/acsjse.v3is1.93>
- Sulaiman, D. C., & Mulyana, T. M. S. (2023). Web-Based Writing Learning Application of Basic Hanacaraka Using Convolutional Neural Network Method. In *Ultimatics : Jurnal Teknik Informatika* (hal. 28–34). <https://doi.org/10.31937/ti.v15i1.2993>
- Susanto, A., Mulyono, I. U. W., Sari, C. A., Rachmawanto, E. H., Setiadi, D. R. I. M., & Sarker, M. K. (2023). Improved Javanese script recognition using custom model of convolution neural network. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 13(6), 6629. <https://doi.org/10.11591/ijece.v13i6.pp6629-6636>
- Thongkanchorn, K., Kanchanapreechakorn, S., Borwarnginn, P., & Kusakunniran, W. (2019). Thai Character Segmentation in Handwriting Images using Four Directional Depth First Search. *2019 11th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICITEED.2019.8929972>
- Wara Merdeka. (2022). *Perpusnas RI Digitalisasi Naskah Nusantara Berperan Dalam Perkembangan Ilmu Pengetahuan - National Library of Indonesia*. <https://www.perpusnas.go.id/berita/digitalisasi-naskah-nusantara-berperan-dalam-perkembangan-ilmu-pengetahuan> tanggal 20 Oktober 2024