

SISTEM PENDETEKSI OTOMATIS HUKUM QALQALAH SUGRA DAN KUBRA PADA CITRA AL-QUR'AN DIGITAL MENGGUNAKAN OPERATOR SOBEL DENGAN PENDEKATAN TRANSFORMASI SLANT UNTUK KLASIFIKASI

AUTOMATIC DETECTION SYSTEM OF SUGRA AND KUBRA QALQALAH IN DIGITAL QUR'AN IMAGES USING SOBEL OPERATOR AND SLANT TRANSFORMATION APPROACH FOR CLASSIFICATION

Juanda Nargaza¹, Rizka Albar², Rizki Julia Utama³, M.zulfadli⁴,

Fajar subhan⁵, Maisarah⁶

Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Saind dan teknologi, Universitas Ubudiyah Indonesia
E-mail: juandanurgaza@uui.ac.id.¹, albar@uui.ac.id.², rizki_julia@uui.ac.id.³ Zulfadhli@uui.ac.id⁴,
fajarsubhan5427@gmail.com⁵, maisarahujung@gmail.com⁶

*Corresponding author: juandanurgaza@uui.ac.id

Abstrak

Perkembangan pengolahan citra digital saat ini memegang peran penting dalam mengotomatisasi pengenalan pola teks berbahasa Arab, khususnya untuk naskah-naskah seperti Al-Qur'an. Kendala yang sering ditemui dalam sistem pengenalan karakter Arab adalah posisi atau kemiringan huruf yang tidak beraturan, sehingga kerap memicu masalah pada tahap ekstraksi dan menurunkan tingkat akurasi. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini merancang sistem komputasi yang mampu mendeteksi hukum bacaan tajwid—secara spesifik Qalqalah Sugra dan Kubra—pada citra Al-Qur'an digital secara otomatis. Sebagai langkah awal untuk mengenali pola visual, sistem menerapkan metode deteksi tepi menggunakan operator Sobel guna mempertegas garis batas pada karakter huruf Qalqalah. Selanjutnya, algoritma Transformasi Slant dilibatkan untuk mengoreksi sudut kemiringan huruf agar kembali ke bentuk idealnya. Evaluasi kinerja sistem diukur secara objektif melalui parameter *Precision* dan *Recall*. Hasil pengujian menggunakan penggabungan metode Slant-Sobel menunjukkan bahwa sistem mampu mencapai nilai *Precision* sebesar 76,92% dan *Recall* sebesar 86,96%. Melalui pendekatan Slant-Sobel ini, penelitian diharapkan mampu menyajikan solusi pengolahan citra yang andal dan akurat dalam mengidentifikasi hukum bacaan tajwid pada naskah digital.

Kata Kunci: Pengolahan Citra, Hukum Qalqalah, Operator Sobel, Transformasi Slant, Sistem Deteksi.

Abstract

The development of digital image processing currently plays an important role in automating the pattern recognition of Arabic texts, especially for manuscripts like the Qur'an. A common obstacle in Arabic character recognition systems is the irregular position or slant of the letters, which often triggers problems during the extraction stage and reduces accuracy. To overcome this, this study designed a computational system capable of automatically detecting tajweed rules—specifically Sugra and Kubra Qalqalah—in digital Qur'an images. As an initial step to recognize visual patterns, the system applies an edge detection method using the Sobel operator to sharpen the outlines of the Qalqalah characters. Furthermore, the Slant Transformation algorithm is involved to correct the tilt angle of the letters, restoring them to their ideal shape. The system's performance evaluation is measured objectively through *Precision* and *Recall* parameters. The test results using the combined Slant-Sobel method showed that the system was able to achieve a *Precision* value of 76.92% and a *Recall* of 86.96%. Through this Slant-Sobel approach, the research is expected to present a reliable and accurate image processing solution for identifying tajweed rules in digital manuscripts. **Keywords:** Image Processing, Qalqalah Rules, Sobel Operator, Slant Transformation, Detection System.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komputasi dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) saat ini telah merambah ke berbagai aspek, termasuk dalam ranah pelestarian dan analisis naskah keagamaan berbasis digital. Di tengah masifnya transformasi digital, kajian mengenai pengolahan citra digital (*digital image processing*) memegang peranan krusial, khususnya dalam upaya otomatisasi pengenalan pola teks berbahasa Arab

seperti Al-Qur'an. Sebagai kitab suci umat Islam, Al-Qur'an memiliki struktur teks dan tata bahasa yang kompleks, yang tidak hanya menuntut ketepatan dalam pembacaan secara harfiah, tetapi juga ketelitian dalam memahami kaidah ilmu tajwid di dalamnya.

Dalam ranah akademis, pengenalan pola (*pattern recognition*) pada citra aksara Arab sering kali dihadapkan pada berbagai kendala teknis yang pelik. Karakteristik tulisan tangan atau cetakan naskah masa

lampau kerap menunjukkan ketidakteraturan orientasi, variasi gaya kaligrafi, hingga kemiringan sudut huruf yang tidak konsisten akibat faktor penulisan manual maupun penurunan kualitas fisik media. Kondisi ini secara langsung memicu distorsi visual yang menyulitkan sistem komputer dalam melakukan proses segmentasi dan ekstraksi fitur secara akurat. Apabila hal tersebut dibiarkan, maka performa dari sistem komputasi—terutama pada tahap klasifikasi—akan mengalami penurunan yang signifikan.

Sebagai respons atas tantangan tersebut, pengembangan **sistem cerdas (*intelligent systems*)** mutlak diperlukan guna meniru kemampuan kognitif manusia dalam mengidentifikasi pola visual secara otonom. Penelitian-penelitian terdahulu umumnya berfokus pada analisis tata bahasa dasar seperti ilmu Nahwu, salah satunya adalah identifikasi *Dhamir Rafa' Munfasil* dengan memanfaatkan algoritma *Slant Transformation*. Kendati demikian, eksplorasi terhadap otomatisasi identifikasi kaidah ilmu tajwid—khususnya hukum bacaan **Qalqalah (Sugra dan Kubra)**—pada citra Al-Qur'an digital masih menyisakan ruang pengembangan yang sangat luas.

Hukum Qalqalah dapat dicirikan dengan tanda getaran suara atau pantulan pada huruf-huruf tertentu (ق, ط, ب, د, ج) saat berstatus sukun memerlukan ketajaman deteksi struktur piksel yang presisi, baik ketika berada di tengah kata (*Sugra*) maupun di akhir ayat/kalimat (*Kubra*). Untuk membangun sistem cerdas yang handal dalam mengenali pola tersebut, diperlukan tahapan prapengolahan citra yang komprehensif. Pendekatan deteksi tepi menggunakan **operator Sobel** terbukti efektif dalam menonjolkan batas kontur dan garis piksel karakter huruf secara tegas dari latar belakangnya. Akan tetapi, operator Sobel saja belum cukup untuk mengatasi persoalan variasi kemiringan tulisan. Oleh karena itu, diperlukan integrasi **Transformasi Slant** guna menormalisasi orientasi huruf agar kembali mendekati bentuk idealnya sebelum fitur-fitur penting diekstraksi.

Keluaran dari tahapan prapengolahan yang bersih dan terstandarisasi ini selanjutnya diumpankan ke dalam model **Machine Learning**, yang bertindak sebagai mesin inferensi (*inference engine*) untuk mengklasifikasikan jenis hukum Qalqalah secara objektif. Melalui penggabungan sinergis antara operator Sobel, Transformasi Slant, dan algoritma *Machine Learning*, penelitian ini dirancang untuk mengukur tingkat unjuk kerja sistem secara kuantitatif menggunakan parameter evaluasi kinerja berupa *Precision* dan *Recall*. Berdasarkan uraian tersebut, riset ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan ilmu komputer, khususnya dalam menghadirkan solusi otomatisasi analisis tajwid yang akurat, efisien, dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dirancang secara sistematis guna memastikan alur penyelesaian masalah berjalan terstruktur, mulai dari tahap studi literatur hingga evaluasi unjuk kerja sistem. Secara garis besar, tahapan penelitian ini dibagi menjadi beberapa fase utama yang dapat dilihat pada kerangka kerja penelitian berikut:

2.1 Tahap Penelitian Studi Literatur dan Pengumpulan Data:

Melakukan kajian pustaka mendalam mengenai teori pengolahan citra digital, deteksi tepi operator Sobel, Transformasi Slant, dan algoritma *Machine Learning*. Pada tahap ini, konsultasi dengan ahli bidang Al-Qur'an dan ilmu tajwid juga dilakukan untuk memvalidasi karakteristik visual serta aturan dasar dari hukum Qalqalah Sugra dan Kubra. Sumber data utama berupa citra digital Al-Qur'an (standar cetak Usmaniyah) yang diambil dari halaman-halaman tertentu untuk merepresentasikan variasi teks yang akan diuji.

2.3 Prapengolahan Citra (*Image Preprocessing*)

Citra mentah yang dimasukkan ke dalam sistem akan melalui tahapan konversi ke *grayscale* (*grayscale conversion*), penyesuaian ukuran (*resizing*), binarisasi, serta proses konvolusi awal.

2.4 Implementasi Operator Sobel dan Transformasi Slant

Citra kemudian melalui proses deteksi tepi menggunakan operator Sobel untuk menonjolkan garis kontur huruf. Dilanjutkan dengan penerapan Transformasi Slant guna menormalisasi sudut kemiringan huruf agar kembali ke bentuk idealnya.

2.5 Ekstraksi Fitur dan Klasifikasi *Machine Learning*

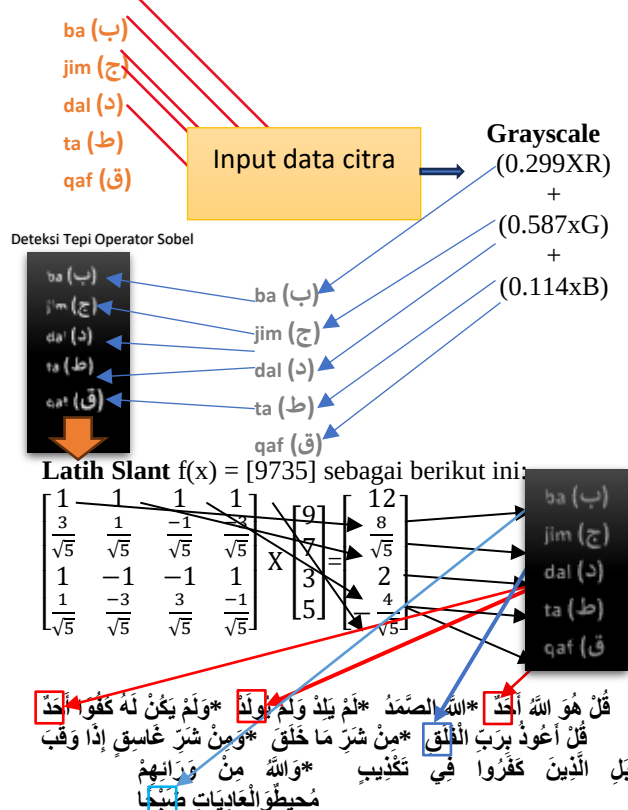
Fitur kuantitatif dari karakter huruf Qalqalah yang telah dinormalisasi diekstrak dan diproses oleh model *Machine Learning* untuk melakukan pembelajaran pola (*training*) dan pengujian (*testing*) dalam membedakan kategori Qalqalah Sugra dan Kubra.

2.5 Pengujian dan Evaluasi Sistem:

Tahap akhir untuk mengukur performa sistem menggunakan parameter matriks evaluasi kinerja berupa *Precision* dan *Recall*.

2.6 Rancangan simulasi Pendeteksian

untuk sebuah rancangan Simulasi pelatihan yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 3.1

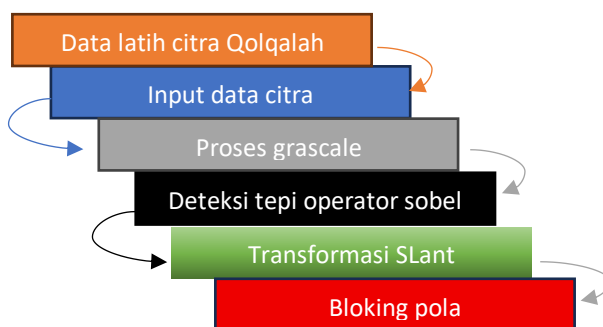


Gambar 2.1 Rancangan simulasi sistem Machine learning

Pada Gambar 2.1 diatas menggambarkan proses bekerja secara bertahap dari penginputan citra warna hingga proses Slant

2.6.1 Bloking pola

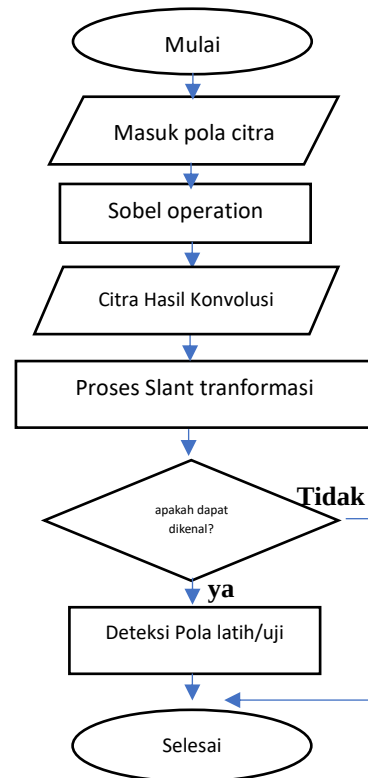
Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif eksperimental dengan tujuan melatih **Qalqalah (Sugra dan Kubra)**—pada citra Al-Qur'an untuk di deteksi pola karakter citra Al-Qur'an digital. Model yang dikembangkan mengintegrasikan metode ekstraksi fitur menggunakan Transformasi Slant dan dan operator sobel untuk bloking pola seperti gambar 2.2 dibawah ini:



Gambar.2.2 Proses Deteksi pola

2.6.2 Skema Diagram Alir

Diagram Alir Sobel ke Transformasi Slant-juga melibatkan hasil konvolusi sebelumnya dimana perhitungan Algoritma tersebut dapat dilihat pada pada gambar berikut ini.

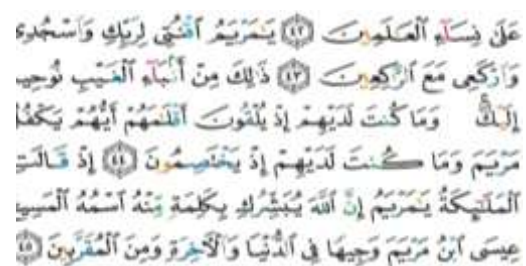


Gambar.2.3 diagram alir Deteksi QolQolah

2.7 Pengumpulan Sample data

Pada penelitian ini Data latih dan data yang diuji bersumber dari Al-Qur'an digital.

2.7.1 Sampel pelatihan



Gambar 2.3.1 Contoh sampel citra Al-Qur'an yang digunakan sebagai pelatihan.

Untuk melakukan pelatihan sampel yang digunakan berupa citra Al-Qur'an digital dari Setiap lebar sampai dengan 10 lembar uji coba setiap lembarnya dengan total 3 sampai 10 baris ayat yang diuji.

2.8 Uji Coba Sistem

Pengujian merupakan tahap akhir dari desain sistem yang telah dibangun setelah sistem selesai, Pengukuran pendeteksian pola pada umumnya

menggunakan dua parameter yaitu *true detection* dan *false detection* yang akan diterapkan pada pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) nantinya. Pengukuran yang digunakan adalah Presision dan recall dengan rumus perhitungan parameter sebagai berikut.

Nilai prediksi	Nilai sebenarnya		
		True	False
	True	TP	FP
	False	FN	TN

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} = \text{hasil}$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} = \text{hasil} \quad 3.3$$

Dalam evaluasi kinerja sistem deteksi pola, digunakan empat parameter utama, yaitu **True Positive (TP)** yang merujuk pada jumlah pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang berhasil dikenali secara tepat oleh sistem; **False Positive (FP)**, yaitu jumlah deteksi yang keliru di mana sistem mengidentifikasi pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) padahal sebenarnya bukan; **False Negative (FN)** mengacu pada kasus ketika sistem gagal mengenali pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang sebenarnya ada; dan **True Negative (TN)** adalah jumlah kasus yang dengan benar tidak terklasifikasi sebagai pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) karena memang tidak termasuk dalam kategori tersebut.

Adapun **True Detection** didefinisikan sebagai persentase jumlah pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang berhasil dideteksi dengan benar dibandingkan dengan total pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang tersedia dalam data uji. Sementara itu, **False Detection** menggambarkan proporsi kesalahan sistem dalam mendeteksi bagian teks yang bukan merupakan pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) namun secara keliru dikenali sebagai bagian dari pola tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang akan dibahas meliputi pendeteksian sample Al-quraan yang terfokus pada huruf arab pada Al-Quraan. Hasil merupakan citra Al-Qur'an digital untuk mendeteksi pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang telah dibloking berdasarkan sensitivitas citra QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA), untuk Membloking posisi Qalqalah tersebut tingkat keakurasiannya maka digunakan dua parameter *True detection* dan *false detection*.

3.1 Pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang dilatih dan diuji

Pola pola Qalqalah (SUGRA DAN KUBRA) terdiri atas 5 dan ke 5 Sampel pelatihan pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang digunakan dalam penelitian ini yang mewakili pola karakter yang

berbeda. Gambar 4.2 melampirkan 5 sampel pola huruf QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang digunakan sebagai pelatihan.

ق ط ب ج د

Gambar 3.0 Sampel Pelatihan pola

Pada setiap pola QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang dideteksi masing masing memiliki karakter dan ciri yang berbeda dari 5 QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang dipelajari dalam ilmu tajwid memiliki dpola dan karakter yang berbeda Sehingga untuk pengenalan polanya harus dilatih berdasarkan kaidah bahasa Arab yang ada dalam Alqur'an.

3.2 Hasil deteksi

Hasil deteksi Adalah 5 pola Qalqalah pada citra Al-quran. hasil deteksi yang berhasil akan terbloking pola karakter Qalqalah (Sugra Dan Kubra) dengan warna berbeda.

3.3 Rancangan Klasifikasi

Rancangan Klasifikasi Perancangan klasifikasi dalam sistem ini bertujuan untuk membangun model komputasi yang mampu mengenali dan membedakan hukum bacaan Qalqalah Sugra dan Kubra secara otonom. Setelah melalui tahap prapengolahan yang mencakup konversi *grayscale*, deteksi tepi menggunakan operator Sobel, serta normalisasi sudut via Transformasi Slant, citra masukan direpresentasikan kedalam bentuk fitur kuantitatif yang siap diproses oleh model *Machine Learning*.

3.3.1 Pembagian Dataset (Data Latih dan Data Uji): Data yang digunakan bersumber dari citra Al-Qur'an digital dengan total pengujian mencapai 10 hingga 50 lembar. Dataset ini dibagi menjadi data pelatihan (*training data*) untuk membentuk model pengetahuan sistem dan data pengujian (*testing data*) untuk mengukur tingkat adaptabilitas model terhadap variasi citra baru.

3.3.2 Ekstraksi Fitur dan Pembobotan Ciri: Fitur spasial dan struktural dari kelima huruf Qalqalah ق ط ب ج د diekstrak berdasarkan karakteristik piksel hasil konvolusi operator Sobel. Nilai kedekatan ciri (*feature matching*) dari setiap karakter dihitung untuk mencocokkannya dengan bobot acuan pada basis data sistem.

3.3.3 Mekanisme Inferensi Model Machine Learning: Model klasifikasi berbasis *ensemble learning* bertindak sebagai mesin inferensi. Algoritma ini bekerja dengan cara menggabungkan beberapa pengklasifikasi lemah (*weak classifiers*) menjadi satu pengklasifikasi kuat (*strong classifier*). Proses iteratif ini memberikan bobot lebih tinggi pada sampel yang sulit dikenali, sehingga model mampu memisahkan dengan akurat antara posisi Qalqalah Sugra (sukun di tengah kata) dan Qalqalah Kubra (sukun akibat berhenti atau *waqaf* di akhir ayat).

3.3.4 **Validasi Kelas Target:** Keluaran (*output*) akhir dari sistem klasifikasi ini berupa pelabelan kelas otonom yang divisualisasikan melalui teknik pemblokkan warna (*blocking pattern*) yang berbeda pada citra Al-Qur'an digital, untuk kemudian divalidasi menggunakan parameter kinerja *Precision* dan *Recall*.

3.4 Melihat akurasi

Pada tahapan ini, model *Machine Learning* yang dibangun menggunakan penggabungan metode Transformasi Slant dan *sobel* diuji tingkat keakurasiannya dalam mendeteksi dan mengklasifikasikan pola karakter Qalqalah (Sugra dan Kubra) berdasarkan variasi warna hasil pemblokkan. Pengujian dilakukan untuk membandingkan bobot ciri pola yang dijadikan acuan dengan kedekatan ciri pola yang diinputkan sebelumnya, guna memastikan apakah kedekatan tersebut dapat dikenali sebagai ciri yang sah atau tidak.

3.5 Hasil deteksi

Uji coba pada proses ini juga dilakukan bloking pola deteksi pada surat AL-Ihlas Ayat 1 sampai 4, Berikut hasil uji coba **Gambar 3.1**



Gambar 3.1 Sampel hasil bloking pola

Pada gambar 3.1 *Sampel hasil bloking pola* menunjukkan ada 6 pendeteksian tertangkap Qalqalah Kubra. Ada 5 pola yang berhasil dikenal dengan benar dan 1 pola yang salah.

Selanjutnya diuji pada surah Al-falaq



Gambar 3.2 Sampel hasil bloking pola

Pada gambar 3.2 *Sampel hasil bloking pola Qalqalah* dari ayat 1 sampai 5 menunjukkan ada 7 pola Qalqalah yang dideteksi. Ada 5 pola yang berhasil dikenal dengan benar dan 2 pola yang salah dalam pengenalan. Selanjutnya pada surah Al-kafirun.



Gambar 3.3 Sampel hasil bloking pola

Pada gambar surat al-kafirun ayat 1 sampai 6 gambar 3.3 *Sampel hasil bloking pola Qalqalah* menunjukkan ada 3 pola Qalqalah yang dideteksi. Ada 2 pola yang berhasil dikenal dengan benar dan 1 pola yang salah dalam pengenalan



Gambar 3.4 Sampel hasil bloking pola

Pada gambar 3.4 *Sampel hasil bloking pola Slant-Adaboot* menunjukkan ada 2 pola Qalqalah yang dideteksi oleh Adabooting. Ada 1 pola yang berhasil dikenal dengan benar dan tidak ada pola yang salah dalam pengenalan



Pada gambar 3.5 *Sampel hasil bloking pola* menunjukkan ada 6 pola Qalqalah yang dideteksi. Ada 6 pola yang berhasil dikenal dengan benar dan 0 pola yang salah dalam pengenalan



Gambar 3.6 Sampel hasil bloking pola Slant

Pada gambar 3.6 *Sampel hasil bloking pola Slant-Adaboot* menunjukkan ada 1 pola Qolqalah yang dideteksi oleh Adabooting. Ada 1 pola yang berhasil dikenal dengan benar dan tidak ada pola yang salah dalam pengenalan.

4.1.1 Tabel Hasil deteksi

Pada Algoritma ini akan diuji 150 baris ayat yang menjadi Perbandingan pada penelitian yang sama dengan Ayat yang diuji oleh Transformasi Slant dibantu operator sobel. Berikut table 4.5 hasil kerja sistem Transformasi Slant - sobel.

N o	Nama surat	Jumlah real.	terdeteksi	$\frac{T}{R}$ $\frac{U}{e}$	$\frac{F}{L}$ $\frac{A}{S}$ $\frac{e}{e}$	No gambar
1	Al-ikhlas	5	6	5	1	3.1
2	Al-falaq	5	7	5	2	3.2
3	Al-kafirun	3	3	2	1	3.3
4	Surah Annasar	3	3	2	1	3.4
5	Al-lahab	6	6	5	1	3.5
6	AL-Qurais	1	1	1	1	3.6
total	Rata-rata	23	26	20	6	

Tabel 3.1 Hasil deteksi Metode Slant-sobel

Dari table diatas dapat dijelaskan dari 6 surah yang diuji 26 ayat dikenal sebagai Qolqalah dengan 7 ayat bukan QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) dan dengan 20 ayat benar QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA), keberhasilan menggunakan Slant-sobel hasil pengukuran menggunakan precision dan recall

$Precision =$

$\frac{\text{jumlah QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang dipisahkan dengan benar}}{\text{jumlah QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang dipisahkan}}$

$= \text{hasil}$

$Precision = \frac{20}{20+6} = \frac{20}{26} = 76,92\%$

$Recall = \frac{\text{jumlah QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang dipisahkan dengan benar}}{\text{jumlah QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang dipisahkan}}$

Jumlah QALQALAH (SUGRA DAN KUBRA) yang sebenarnya

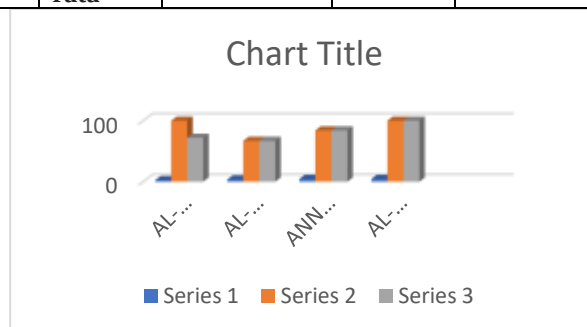
$Recall = \frac{20}{20+7} = \frac{20}{27} = 86,96\%$

4.2 Grafik perbandingan hasil deteksi

Grafik perbandingan hasil deteksi Hasil deteksi menunjukkan presentase mencapai 86,92% hasil yang terbaik menurut rumusan recall dari kombinasi Algoritma slant-sobel ,untuk melihat perbandingan precision dan recall Haybird Slant-Adaboot dapat dilihat pada table 3.1 perbandingan hasil deteksi dengan precision dan Recall sebagai berikut:

Tabel 3.1 Perbandingan hasil deteksi dengan precision dan Recall sebagai berikut

		Rumus Recall(Rule / Jumlah real)	% (Recall)	% (Precision)
1	Al-ikhlas	$(5 / 5) * 100\%$	100%	83.33%
2	Al-falaq	$(5 / 5) * 100\%$	100%	71.43%
3	Al-kafirun	$(2 / 3) * 100\%$	66.67%	66.67%
4	Surah Annasar	$(2 / 3) * 100\%$	66.67%	66.67%
5	Al-lahab	$(5 / 6) * 100\%$	83.33%	83.33%
6	AL-Qurais	$(1 / 1) * 100\%$	100%	100%
-	Total Rata-rata	$(20 / 23) * 100\%$	86.96%	76.92%



Gambar 3.11 Grafik Menggunakan Precision dan Recall

Hasil perbandingan pada grafik Gambar 3.11 Grafik pendeteksian Qolqolah pada citra Al-Qur'an menunjukkan Precision dan Recall Algoritma Haybrid Memiliki precision 76,92% dan recall 86,96%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pengenalan pola Qalqalah (Sugra dan Kubra) pada citra digital Al-Qur'an, penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi algoritma berbasis pendekatan *Slant-Sobel* terbukti efektif sebagai

kerangka ekstraksi dan pengenalan fitur spasial karakter teks Arab. Penggunaan operator Sobel memberikan kontribusi signifikan dalam mendeteksi tepi (*edge detection*) secara presisi, sehingga batas kontur dan morfologi huruf Qalqalah dapat dipisahkan secara tegas dari latar belakangnya. Kinerja ini kemudian dioptimalkan secara sinergis melalui Transformasi Slant yang berfungsi menormalisasi variabilitas sudut kemiringan huruf (*geometric normalization*), mengembalikan struktur piksel pada posisi idealnya, dan mengatasi distorsi rotasional yang kerap menjadi kendala utama dalam segmentasi naskah Arab.

Secara empiris, evaluasi kuantitatif terhadap 6 surah uji dengan total 23 target riil Qalqalah menunjukkan bahwa model *Slant-Sobel* mampu mencapai tingkat sensitivitas yang sangat baik. Sistem berhasil mendeteksi 20 pola Qalqalah dengan benar (*True Positive*), menghasilkan nilai *Recall* sebesar 86,96%. Nilai *Recall* yang tinggi ini mengindikasikan bahwa model memiliki keandalan yang superior dalam meminimalkan kasus kegagalan deteksi (*False Negative*). Sementara itu, nilai *Precision* tercatat pada angka 76,92% dengan jumlah kesalahan deteksi (*False Positive*) sebanyak 6 pola. Adanya rentang *False Positive* tersebut menunjukkan bahwa beberapa karakter Arab non-Qalqalah memiliki kedekatan fitur geometris yang menyerupai huruf Qalqalah saat diproses dalam ranah piksel. Secara keseluruhan, arsitektur *Slant-Sobel* ini menawarkan solusi komputasi yang tangguh (*robust*) dan memiliki kelayakan tinggi untuk diterapkan sebagai basis sistem otomasi identifikasi tajwid berbasis visi komputer.

SARAN

Meskipun model yang diusulkan telah menunjukkan performa yang menjanjikan, masih terdapat ruang pengembangan untuk menyempurnakan keandalan sistem pada kondisi citra yang lebih kompleks. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya, direkomendasikan beberapa poin pengembangan sebagai berikut:

1. **Integrasi Pengklasifikasi Tingkat Lanjut:** Mengingat kerumitan morfologi huruf Arab yang memiliki banyak titik dan lekukan serupa, hasil ekstraksi fitur dari *Slant-Sobel* dapat digabungkan dengan algoritma klasifikasi *Machine Learning* yang lebih mutakhir, seperti *Support Vector Machine* (SVM) atau arsitektur *Deep Learning* seperti *Convolutional Neural Network* (CNN), untuk membentuk mesin inferensi yang mampu memisahkan kelas fitur dengan margin akurasi yang lebih maksimal.
2. **Pengembangan Sistem Berbasis Real-Time:** Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi aplikasi *mobile* atau perangkat lunak berbasis *real-time scanner*. Implementasi ini akan

sangat bermanfaat secara praktis sebagai media pembelajaran interaktif bagi masyarakat dalam mendeteksi dan mempelajari hukum bacaan ilmu tajwid secara instan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gonzalez, R. and Woods, R. Digital Image Processing. Wesley publishing company. USA. 1992
- [2] Arsyad, Azhar, Bahasa Arab dan Metode Pengajarannya, beberapa pokok pikiran, Pustaka Pelajar: Yogyakarta, 2003
- [3] Darma Putra, Pengolahan Citra Digital, Yogyakarta, Andy, 2010.
- [4] Rizal & Fadlisyah. Detection System Tajwid Al Quran on Image Using Bray Curtis Distance. IJCAT - International Journal of Computing and Technology, Volume 2, Issue . 2015
- [5] Azizah, U.N. Perbandingan Detektor Tepi Prewit dan Detektor Tepi Laplacian Berdasarkan Kompleksitas Waktu dan Citra Hasil, Skripsi, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia, 2013.
- [6] Fadlisyah. Sistem Pendeteksian Wajah Pada Video Menggunakan Jaringan Adaptive Linear Neuron (Adaline). Tesis S2 Program Magister Teknik Elektro. Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, Indonesia, 2013.
- [7] Fadlisyah & Rizal. Pemograman Computer Vision Menggunakan Delphi + Vision Lab VCL 4.0.1. Yogyakarta: Graha Ilmu. 2011.
- [8] Kunihiko Fukushima and Nobuaki Wake, Handwritten Alphanumeric Character Recognition by The Neocognitron, IEEE Transaction on Neural Networks, Vol 2 No. 3. 1991.
- [9] Fukushima, K., S., Miyake & T. Ito, "Neocognitron : A Neural Network Model for a Mechanism of Visual Pattern Recognition" IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 13:826-834. 1983 Reprinted in Anderson & Reosenfeld pp. 526-534, 1988.
- [10] Rasheed, N.A. Neural Network Based Segmentation Algorithm For Arabic Characters Recognition", Journal of Babylon University/Pure and Applied Sciences, No. 3, Vol. 19. 2011
- [11] Fadlisyah, S.Si. Computer Vision & Pengolahan Citra., Penerbit Andi Yogyakarta, 2007
- [12] Fadlisyah, dkk. Pengolahan Citra Menggunakan Delphi., Penerbit Graha Ilmu Yogyakarta, 2008
- [13] Zulhanif, Algoritma Transformasi slant Dalam Pengklasifikasian, *Prosiding Seminar Nasional*

- Matematika dan Pendidikan Matematika UMS, FMIPA, Bandung, Indonesia, 2015.*
- [14] H. Amroeni Drajat, *Ulumul Qur'an Pengantar Ilmu-Ilmu Al-Qur'an.*, Kencana, Depok, 2017.
- [15] Abu Razin & Ummu Razin. *Ilmu Sharaf untuk Pemula.* Biasa.id .indonesia 2014
- [16] As-suyuthi, *asbabun nuzul, sebabnya turun ayat Al-Qur'an*, gema insani Jakarta, 2008
- [17] Rojas, R. *transformasi slant and the super bowl of classifiers a tutorial introduction to adaptive boosting*, freie university, berlin, 2009.
- [18] Maryana, Fadlisyah, dan Alfi Fauzi, `` Sistem Pengenalan Ayat Al-Qur'an Surah Al-Muthaffifin Ayat 1-5 Melalui Suara Menggunakan Ada-Boost," *e-Jurnal TECHISI*, vol. 10, no.1, 83,84,85 April 2018.
- [19] kumar And Pradeep, "Facerecognitionbasedonsubpatternmethodusin gslant Transform " *Globaljournal Of engineering science And researches*,vol 81-82 januari 2016
- [20] K.Veearaswamy, M.Koteswara.R, K.Anithasheela, and C.Himabindu "HVS Based Face Recognition Using Slant Transform" *International Journal of Engineering & Technology* 7 (3.34) 313-315, 2018
- [21] J. Nargaza And S. Asyura, "Pendeteksian Dhamir Raf'a Munfasil Pada Citra Al-Qur'an Menggunakan Algoritma Adaboosting Untuk Mengukur Akurasi Pendeteksian Detection Of Dhamir Rafa Munfashil In The Image Of The Quran Using The Adaboosting Algorithm To Measure The Accuracy Of Detection," *Journal Of Informatics And Computer Science*, Vol. 10, No. 2, P. 12, 2311.
- [22] J. Nargaza, R. Albar, N. Hamdi, And R. J. Utama, "Implementasi Transformasi Slant Dalam Pengenalan Pola Tulisan Arab Pada Manuskrip Arab Kuno Implementation Of Slant Transformation In Recognizing Arabic Script Patterns In Ancient Arabic Manuscripts," *Journal Of Informatics And Computer Science*, Vol. 11, No. 1, 2025.