

HANDWRITTEN CHARACTER RECOGNITION UNTUK EVALUASI PERKEMBANGAN KEMAMPUAN MENULIS ANAK PAUD

Patmi Kasih dan Yuliana Melita Pranoto

Teknologi Informasi

Sekolah Tinggi Teknik Surabaya

fatkasih@gmail.com dan ymp@stts.edu

ABSTRAK

Pengenalan tulisan tangan (*handwriting recognition*) adalah kemampuan komputer untuk menerima input tulisan tangan yang dapat dimengerti dari sumber seperti dokumen kertas, foto, layar sentuh dan perangkat lainnya. Penelitian ini menggunakan citra tulisan tangan secara offline dari anak PAUD (Pendidikan Anak Usia Dini) yang dijadikan gambar digital. Selanjutnya citra tulisan anak dicari nilai tingkat kemiripannya dengan citra acuan. Dalam kurun waktu 3 periode penulisan huruf dan angka, tulisan anak akan dianalisa dan dihitung nilai tingkat perkembangannya.

Thin Plate Splin dan Detailed Matching digunakan untuk mencari tingkat kemiripan tulisan anak dengan citra acuan. Selanjutnya dilakukan evaluasi seberapa besar tingkat perkembangan kemampuan anak dalam menuliskan huruf dan angka. Nilai kemiripan diperoleh dari nilai cost thin plate splin dari citra acuan dan citra anak. Detailed matching melakukan pencarian nilai kemiripan citra untuk karakter yang sama. Dalam tiga periode penulisan, didapatkan hasil yang beragam. Secara keseluruhan tingkat kemiripan tulisan anak antara 45-95%. Sedangkan rata-rata perkembangan kemampuan mengalami peningkatan sebesar (0.08-20.89) point meskipun tidak terjadi pada semua anak, dan cenderung mengalami penurunan (0.00- 23) point dari periode sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa anak usia PAUD masih belum bisa dituntut untuk meningkatkan kemampuan menulisnya dengan batasan periode, karena mood anak yang mudah berubah.

Kata Kunci: Pengenalan, Tulisan Tangan, Chain Code, Shape Context, Thin Plate Splin, Detailed Matching.

ABSTRACT

Handwriting recognition is a computer's ability to accept handwritten input that can be understood from sources such as paper documents, photographs, touch-screens and other devices. This study uses the image of offline handwriting of ECD children used as a digital picture. Next, the image of the child will be analyzed to find the similarity level to the reference image. In three periods, the children's handwriting (letters and numbers) will be analyzed and their improvement level will be calculated.

Thin Plate Splin and Detailed Matching are used to find the degree of similarity between the children's handwriting and the reference image. Furthermore, the improvement in the children's ability to write letters and numbers is evaluated. The

similarity value is obtained from the value of cost thin plate splin from a reference image and the image of the child, detailed matching calculated the value of similarity between the image character. In three periods of writing, various results were obtained. Generally, the level of similarity of the children's handwriting is in the range of 45-95 point. The average capability improvement is 0.08-20.89 point although it does not happen to all children, and it tends to decrease by 0.00-23.00 point from the previous period. It can be concluded that children at early ages are not able to improve their writing skills as required in particular time span, because of the volatile mood of the child.

Keywords: Matching, Handwriting, Chain Code, Shape Context, Thin Plate Splin, Detailed Matching.

I. PENDAHULUAN

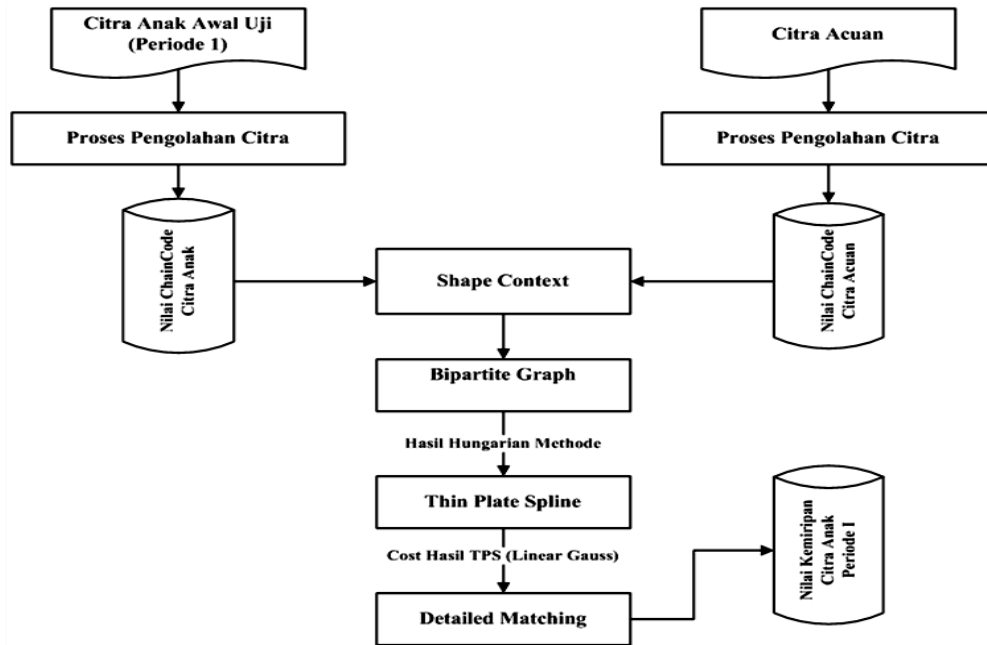
Masih berkembangnya pro kontra tentang perlu tidaknya pelajaran baca tulis pada anak PAUD, dan rasa ketertarikan untuk mengetahui apakah sebenarnya anak-anak PAUD sudah cukup mampu untuk belajar mengenal dan menulis huruf, maka diwujudkan dalam bentuk penelitian ini untuk menemukan jawabannya. Dengan membangun sebuah aplikasi yang diharapkan dapat diterapkan dalam bidang kemanfaatan khususnya untuk mengevaluasi tulisan tangan, yang dalam hal ini adalah untuk evaluasi tingkat perkembangan tulisan tangan anak PAUD.

Penelitian ini dilakukan dengan obyek tulisan tangan secara off-line. Obyek penelitian adalah tulisan tangan anak PAUD TK-B, dimana sejumlah 20 anak yang dijadikan peserta penelitian akan menuliskan karakter huruf latin (huruf kecil) dan angka. Penulisan dilakukan dengan tinta hitam (ballpoint) diatas kertas putih yang sudah diberikan kotak-kotak sebagai tempat anak menuliskan huruf atau angka sesuai dengan contoh yang telah dituliskan pada kertas tersebut. Setiap anak akan menuliskan satu huruf atau satu angka setiap hari sebanyak 20 kali (dalam 20 kotak) untuk karakter huruf atau angka yang sama. Satu lembar uji diambil dalam waktu penulisan yang sama. Keseluruhan lembar uji yang mempunyai 30 karakter (huruf dan angka) tersebut diambil dalam 3 periode penulisan. Keseluruhan data uji berjumlah 1800 lembar yang diperoleh dari 20 anak. Jadi setiap anak mempunyai 90 lembar uji dalam 3 periode dengan 30 karakter (huruf dan angka) setiap periode.

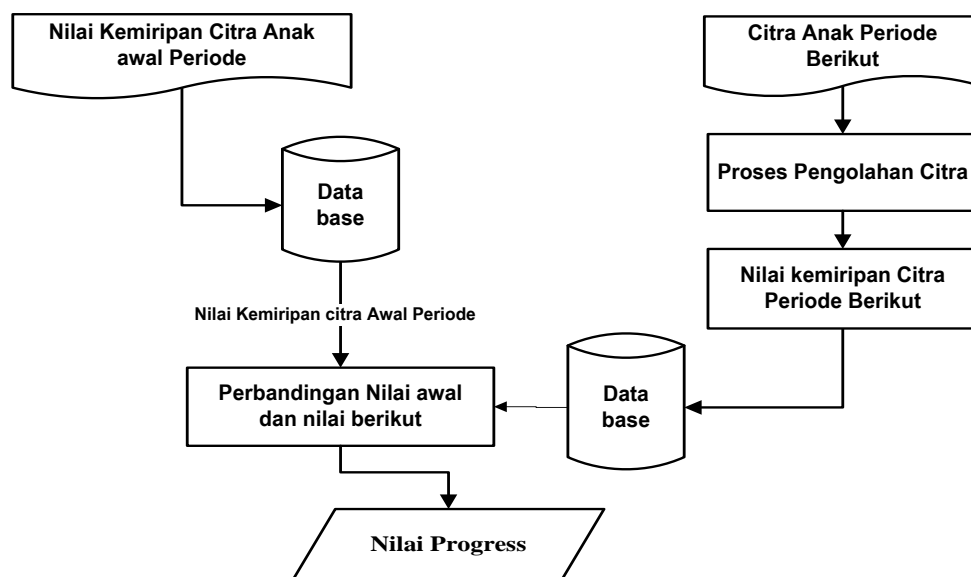
Untuk selanjutnya proses pengolahan citra akan dilakukan setelah tulisan tangan anak selesai dituliskan untuk setiap huruf dan angka. Lembar uji dengan tulisan tangan anak akan di-scan untuk mendapatkan file citra dari tulisan anak tersebut.

II. ARSITEKTUR SISTEM

Selain proses pengolahan citra secara umum, yang dilakukan guna mempersiapkan citra uji dan citra acuan (data) untuk proses uji kemiripan, arsitektur sistem yang dirancang untuk penelitian ini adalah arsitektur untuk proses pencarian nilai kemiripan dan pencarian nilai progress kemampuan menulis anak.



Gambar 1. Diagram Pencarian Kemiripan (Skoring)



Gambar 2. Diagram Pencarian Nilai Progres

Jika dilihat dari arsitektur sistem yang dirancang pada gambar 1 dan gambar 2, maka secara garis besar sistem yang dirancang untuk mengetahui tingkat perkembangan kemampuan menulis anak ini dibagi menjadi tiga tahapan utama, yaitu:

1. Pengolahan citra, yaitu preprocessing untuk citra data uji (image tulisan anak).

Pada tahapan ini, dilakukan proses awal untuk mempersiapkan data uji (citra tulisan anak). Proses dilakukan dengan serangkaian proses pengolahan citra pada umumnya, diantaranya grayscale, thresholding (binerization), filtering, normalisasi

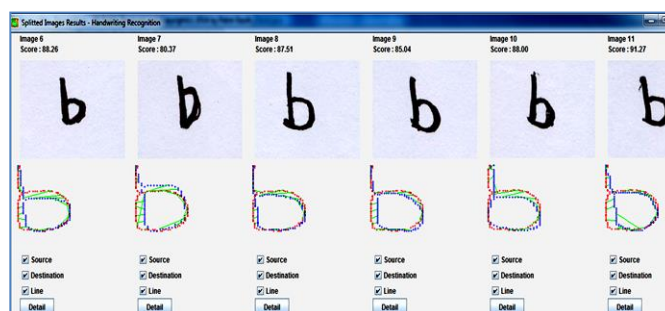
(scaling), dan thinning. Salah satu proses penting dalam yang dilakukan sebelum preprocessing data adalah splitting citra tulisan anak.

Pada penelitian ini proses splitting dilakukan untuk mengambil 20 objek/tulisan anak yang terdapat dalam satu image menjadi 20 objek yang terpisah. Proses ini dilakukan dengan dua algoritma, yaitu *bounding box* dan *hough transform*. Bounding Box melakukan deteksi pixel warna hitam yang dimulai dari baris paling kiri atas suatu gambar (citra anak), kemudian digerakkan ke kanan untuk mencari titik paling kiri yang memiliki warna selain putih, titik ini digunakan sebagai titik acuan kiri dari proses splitting. Sedangkan hough transform digunakan untuk mendeteksi garis lurus yang merupakan bingkai dari tulisan anak. Selanjutnya garis bingkai tersebut akan dihapus, dan akan menyisakan image tulisan anak saja yang selanjutnya dilakukan preprocessing citra dan proses penilaian kemiripan tulisan anak dengan citra acuan.

2. Pencarian nilai kemiripan tulisan anak

Secara singkat tahap pencarian nilai kemiripan tulisan anak dengan citra acuan dilakukan dengan proses chain coding setiap citra tulisan anak. Dari hasil penomoran chain code pada setiap pixel citra tulisan anak, selanjutnya ditentukan kandidat pasangan-pasangan pixel terbaik dengan shape context. Selanjutnya pasangan-pasangan pixel terbaik penyusun gambar disusun menjadikan matriks dengan Bipartite graph matching (hungarian method). Dari matriks Hungarian method diproses menggunakan persamaan linier gauss untuk menghasilkan cost pada thin plate spline. Proses ini menentukan bahwa setiap baris pasti memiliki satu kolom yang cocok sebagai penyelesaiannya yang mengoptimalkan nilai keseluruhan pixel. Proses thin plate spline dilakukan pada masing-masing sumbu x dan sumbu y sehingga cost yang dihasilkan merupakan gabungan dari cost x dan cost y.

Proses thin plate spline dilakukan pada masing-masing sumbu x dan sumbu y, cost yang dihasilkan merupakan gabungan dari cost x dan cost y. Proses ini menghitung cost antara source dengan destination. Cost tersebut yang selanjutnya digunakan untuk menghitung besar perpindahan pada proses detailed matching. Proses detailed matching menghitung tingkat kemiripan citra uji (citra tulisan anak) dengan citra dalam database (citra acuan) yang dilakukan terhadap koordinat x dan koordinat y dari objek uji dan besarnya nilai kemiripan dihitung berdasarkan besar perpindahan setiap pixel gambar pada posisi x dan posisi y sebesar nilai $z(x)$ untuk koordinat x dan sebesar $z(y)$ untuk koordinat y, yang jadikan sebagai nilai akhir $z(\text{total})$. Nilai akhir z yang selanjutnya menjadi nilai kemiripan citra tulisan anak terhadap citra acuan. Proses ini akan dilakukan terhadap setiap lembar citra uji anak selama 3 periode penulisan, maka setiap peserta uji mempunyai tiga nilai kemiripan untuk setiap karakter huruf dan angka.



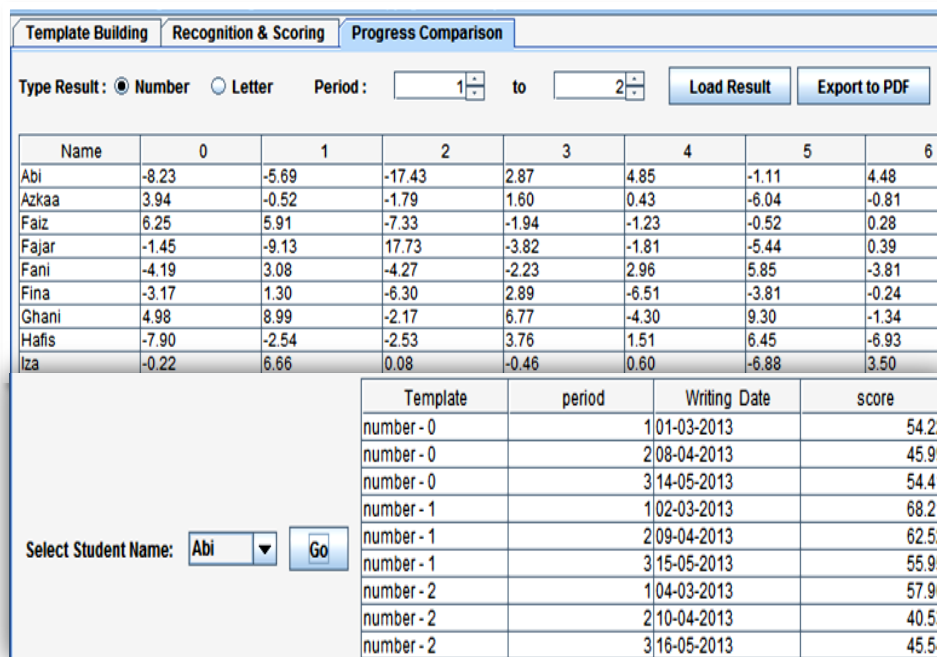
Gambar 3. Interface Detail Proses Pencarian Nilai Kemiripan

3. Proses Pencarian Nilai Progress

Proses ini dilakukan setelah didapatkan nilai kemiripan dari semua citra uji tulisan anak selama 3 periode. Dari nilai kemiripan yang tersimpan dalam database, selanjutnya dilakukan proses pencarian nilai progress atau tingkat perkembangan kemampuan menulis anak. Tahap akhir ini dilakukan dengan cara menghitung selisih nilai hasil uji data pertama dan data untuk citra huruf/angka yang sama.

III. HASIL

Dalam pencarian nilai kemiripan tulisan anak dengan data acuan, proses dilakukan dengan memanggil image tulisan anak yang dikehendaki, selanjutnya dicari nilai kemiripannya dengan citra acuan yang sesuai dengan karakter (huruf/angka) pada image tulisan anak. Aplikasi akan menampilkan hasil berupa nilai rata-rata dari 20 nilai kemiripan tulisan anak yang terdapat dalam satu image anak terhadap citra acuan. Nilai kemiripan masing-masing image tulisan anak dapat juga dilihat dalam form untuk proses ini, dengan detail-detail nilai chaincode dari image tersebut.



Name	0	1	2	3	4	5	6
Abi	-8.23	-5.69	-17.43	2.87	4.85	-1.11	4.48
Azkaa	3.94	-0.52	-1.79	1.60	0.43	-6.04	-0.81
Faiz	6.25	5.91	-7.33	-1.94	-1.23	-0.52	0.28
Fajar	-1.45	-9.13	17.73	-3.82	-1.81	-5.44	0.39
Fani	-4.19	3.08	-4.27	-2.23	2.96	5.85	-3.81
Fina	-3.17	1.30	-6.30	2.89	-6.51	-3.81	-0.24
Ghani	4.98	8.99	-2.17	6.77	-4.30	9.30	-1.34
Hafis	-7.90	-2.54	-2.53	3.76	1.51	6.45	-6.93
Iza	-0.22	6.66	0.08	-0.46	0.60	-6.88	3.50

Template	period	Writing Date	score
number - 0		101-03-2013	54.22
number - 0		208-04-2013	45.99
number - 0		314-05-2013	54.41
number - 1		102-03-2013	68.21
number - 1		209-04-2013	62.52
number - 1		315-05-2013	55.95
number - 2		104-03-2013	57.96
number - 2		210-04-2013	40.53
number - 2		316-05-2013	45.54

Gambar 4. Interface Menu Progress Comparison

Nilai kemiripan tulisan anak untuk setiap karakter pada setiap periode disimpan dalam suatu database. Nilai tersebut digunakan sebagai pembandingan nilai baru kemampuan menulis anak jika terdapat data uji baru yang diproses. Proses yang dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai progress kemampuan menulis anak adalah dengan mencari perbandingan nilai kemiripan (skor) pada periode pertama terhadap citra tulisan anak periode berikutnya. Tabel 1 menunjukkan skor tulisan anak untuk karakter angka pada periode 1.

Tabel 1. Skor Tulisan Anak Untuk Karakter Angka Periode I

Nama	Nilai Kemiripan untuk karakter angka									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Abi	73.47	88.66	78.16	72.67	76.59	72.27	75.89	72.73	73.92	69.90
Azkaa	69.20	92.06	79.23	78.59	75.63	59.10	72.04	76.82	73.36	73.61
Faiz	72.32	92.98	73.96	62.08	78.26	67.95	73.04	74.43	72.86	72.17
Fajar	73.69	90.09	77.18	70.31	74.74	64.48	75.19	77.73	76.73	69.95
Fani	73.67	89.24	73.37	72.79	73.23	66.77	73.14	72.69	78.67	69.62
Fina	70.96	93.20	77.43	66.05	75.09	68.59	75.45	75.37	78.50	66.53
Ghani	78.57	92.04	77.42	68.20	78.45	52.63	76.03	75.69	75.02	71.06
Hafis	72.71	92.65	79.85	73.39	80.32	67.25	74.07	73.71	71.59	70.06
Iza	76.35	90.47	80.27	74.07	75.92	71.31	75.52	75.23	75.43	66.21
Kiky	77.73	91.17	73.80	72.58	77.40	59.86	70.92	77.70	75.06	70.73
Lisa	75.77	89.18	73.57	67.87	76.65	70.82	74.55	79.59	76.89	67.37
Naailah	72.71	86.29	72.66	77.90	79.73	59.96	73.97	72.32	74.67	60.90
Nadiya	78.85	93.65	74.23	68.18	77.85	67.97	69.03	74.31	76.52	72.31
Nazwa	73.42	90.30	76.93	72.43	75.98	69.37	75.69	75.26	76.77	71.22
Nia	69.57	90.25	77.57	73.10	74.73	65.06	71.77	68.75	75.17	73.91
Renji	75.10	88.00	76.60	73.77	76.19	69.15	75.58	77.83	72.82	70.75
Savira	75.15	91.35	78.71	72.21	78.57	60.54	77.84	75.75	75.91	69.27
Shifa	77.63	91.19	70.17	62.48	75.23	63.40	74.13	78.14	76.38	63.59
Syaikhu	77.37	92.23	76.99	69.82	76.44	71.00	72.54	77.45	70.69	73.15
Vicky	76.46	91.80	74.00	74.59	79.62	53.42	72.82	76.15	77.09	66.17

Hasil yang beragam seperti pada tabel 1 diatas terjadi pada semua anak peserta uji untuk semua karakter angka dan huruf uji. Yang dimaksud beragam disini adalah bahwa untuk setiap anak nilai skor tulisan tangan yang diperoleh ada yang sangat rendah, sedang/cukup baik dan baik, untuk karakter huruf atau angka yang berbeda. Hasil skor tulisan tangan anak disini adalah nilai rata-rata dari tingkat kemiripan 20 objek tulisan tangan anak yang terdapat dalam satu citra uji. Skor anak untuk karakter angka pada periode kedua dapat dilihat pada table 2.

Tabel 2. Skor Tulisan Anak Untuk Karakter Angka Periode II

Nama	Nilai Kemiripan untuk karakter angka									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Abi	74.59	86.41	76.57	72.63	78.36	69.95	72.48	75.68	76.14	71.97
Azkaa	71.55	88.80	75.70	71.97	75.42	68.90	72.02	77.33	76.39	68.57
Faiz	75.31	93.73	74.67	68.03	78.26	67.95	68.66	76.83	73.92	69.44
Fajar	74.92	87.26	75.16	69.34	76.98	60.99	74.31	74.54	78.41	68.45
Fani	78.30	91.38	76.34	69.15	79.67	69.24	72.14	78.51	73.94	71.95
Fina	75.77	91.68	77.43	66.05	78.27	71.82	70.86	75.37	77.11	66.53
Ghani	75.08	91.46	78.06	77.96	76.65	62.44	74.03	76.17	74.25	68.22
Hafis	70.43	93.30	82.13	76.62	76.90	74.48	74.07	76.54	68.29	70.05
Iza	76.35	90.86	76.48	70.64	71.57	69.15	74.93	76.84	75.80	67.90
Kiky	77.73	92.60	78.48	72.21	79.04	59.12	73.04	77.70	76.16	73.23
Lisa	74.14	88.87	77.99	71.11	73.09	70.82	71.34	77.38	78.28	67.87
Naailah	72.28	88.25	74.51	74.26	78.88	69.98	72.87	82.62	75.82	70.11
Nadiya	74.57	93.18	71.32	72.25	78.74	65.12	69.03	70.90	81.16	64.65
Nazwa	76.43	91.11	78.06	68.69	77.09	68.73	75.16	75.46	77.65	65.18

Nia	75.31	94.16	74.66	74.04	74.04	65.21	71.86	74.39	75.14	64.91
Renji	78.69	89.04	76.60	68.22	73.45	59.90	74.29	72.61	77.27	66.41
Savira	76.95	90.26	78.98	69.88	78.29	45.21	75.47	76.13	74.02	70.62
Shifa	75.50	90.98	71.72	70.10	78.67	64.97	72.97	75.00	76.38	68.55
Syaikhu	75.80	88.45	76.06	70.71	78.60	67.62	74.01	76.74	76.32	71.33
Vicky	77.37	90.76	75.81	74.55	77.14	63.65	72.82	76.95	76.24	73.53

Proses pencarian nilai kemiripan dilakukan pada semua tulisan anak untuk periode-periode yang lain. Proses pencarian nilai progress dilakukan dengan mencari selisih setiap tulisan anak antara periode satu dengan periode berikut untuk setiap karakter yang sama. Contoh hasil perbandingan nilai kemiripan tulisan anak karakter angka antara periode I dan periode II, yang berarti nilai progress kemampuan menulis anak untuk karakter angka dari periode I ke periode II dapat dilihat pada table 3.

Tabel 3. Nilai Progress Citra Tulisan Anak Karakter Angka Periode I-Periode II

Nama	Nilai Progress Periode I ke Periode II									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Abi	1.12	-2.25	-1.59	-0.04	1.77	-2.32	-3.41	2.95	2.22	2.07
Azkaa	2.35	-3.26	-3.53	-6.62	-0.21	9.80	-0.02	0.51	3.03	-5.04
Faiz	2.99	0.75	0.71	5.95	0.00	0.00	-4.38	2.40	1.06	-2.73
Fajar	1.23	-2.83	-2.02	-0.97	2.24	-3.49	-0.88	-3.19	1.68	-1.50
Fani	4.63	2.14	2.97	-3.64	6.44	2.47	-1.00	5.82	-4.73	2.33
Fina	4.81	-1.52	0.00	0.00	3.18	3.23	-4.59	0.00	-1.39	0.00
Ghani	-3.49	-0.58	0.64	9.76	-1.80	9.81	-2.00	0.48	-0.77	-2.84
Hafis	-2.28	0.65	2.28	3.23	-3.42	7.23	0.00	2.83	-3.30	-0.01
Iza	0.00	0.39	-3.79	-3.43	-4.35	-2.16	-0.59	1.61	0.37	1.69
Kiky	0.00	1.43	4.68	-0.37	1.64	-0.74	2.12	0.00	1.10	2.50
Lisa	-1.63	-0.31	4.42	3.24	-3.56	0.00	-3.21	-2.21	1.39	0.50
Naailah	-0.43	1.96	1.85	-3.64	-0.85	10.02	-1.10	10.30	1.15	9.21
Nadiya	-4.28	-0.47	-2.91	4.07	0.89	-2.85	0.00	-3.41	4.64	-7.66
Nazwa	3.01	0.81	1.13	-3.74	1.11	-0.64	-0.53	0.20	0.88	-6.04
Nia	5.74	3.91	-2.91	0.94	-0.69	0.15	0.09	5.64	-0.03	-9.00
Renji	3.59	1.04	0.00	-5.55	-2.74	-9.25	-1.29	-5.22	4.45	-4.34
Savira	1.80	-1.09	0.27	-2.33	-0.28	-15.33	-2.37	0.38	-1.89	1.35
Shifa	-2.13	-0.21	1.55	7.62	3.44	1.57	-1.16	-3.14	0.00	4.96
Syaikhu	-1.57	-3.78	-0.93	0.89	2.16	-3.38	1.47	-0.71	5.63	-1.82
Vicky	0.91	-1.04	1.81	-0.04	-2.48	10.23	0.00	0.80	-0.85	7.36

Dari pengamatan pada hasil diketahui bahwa tingkat perkembangan kemampuan anak dalam menuliskan angka pada periode I ke periode II mempunyai nilai yang beragam. Dari nilai perkembangan yang cukup bagus (nilai positif) meski peningkatan relative kecil, tidak mengalami perkembangan (0.00) dan bahkan yang mengalami penurunan nilai (nilai negatif). Hal ini terjadi juga antar dua periode-periode yang lain, yaitu periode 1 ke 3 dan periode 2 ke 3. Hasil nilai kemampuan menulis anak seperti diatas terjadi juga pada tulisan anak dengan karakter huruf.

IV. PENUTUP

Berdasarkan hasil dari proses aplikasi dan analisa hasil yang dilakukan, maka dapat dibuat kesimpulan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Dengan implementasi algoritma Freeman's chaincode, Thin Plate Spline dan Detailed Matching, aplikasi ini dapat memberikan informasi tingkat kemiripan (skor) citra tulisan anak terhadap citra acuan. Perbandingan skor tulisan anak antar periode menunjukkan nilai progress kemampuan menulis anak dalam menulis huruf dan angka yang dilakukan selama tiga periode penulisan.
2. Dengan detailed matching dalam aplikasi ini, yang menilai tingkat kemiripan citra uji terhadap acuan berdasarkan besarnya perpindahan, terjadi beberapa image uji yang secara subyektif (menurut mata manusia) terlihat mempunyai bentuk yang lebih baik namun mendapatkan nilai kemiripan yang lebih rendah dari image yang secara subyektif lebih jelek. Hal ini dikarenakan penglihatan manusia dengan komputer berbeda berdasarkan algoritma, yaitu komputer menilai tingkat kemiripan berdasarkan dari source yang disediakan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa algoritma yang diterapkan adalah "besar perpindahan" ternyata masih kurang memenuhi kepuasan jika dibandingkan dari pandangan subyektif mata manusia, karena mata manusia cenderung melihat ke pola (bentuk), sedangkan komputer melihat berdasarkan cost (nilai jarak) untuk perpindahan image uji ke source/acuan.
3. Berdasarkan hasil keseluruhan, disimpulkan bahwa kemampuan anak PAUD menulis huruf maupun angka secara umum mengalami peningkatan setiap periode-nya, meski belum cukup besar secara rata-rata dari keseluruhan anak peserta uji. Ada beberapa anak yang tidak mengalami peningkatan pada periode selanjutnya, bahkan mengalami penurunan nilai. Nilai progress peserta uji mengalami peningkatan antara 0.08-20.89 point, sedangkan penurunan nilai terjadi hingga -22.01 point. Namun berdasarkan hasil pengamatan terhadap nilai progress secara keseluruhan, peningkatan kemampuan menulis peserta uji lebih baik dibandingkan penurunannya.
4. Keputusan peneliti untuk menggunakan alat tulis berupa *Ballpoint* dirasakan kurang tepat. Berdasarkan pengamatan pribadi peneliti, kemampuan menulis peserta uji berkurang dari biasanya dibanding saat menulis dengan menggunakan pensil. Ternyata dengan menggunakan ballpoint tulisan anak tidak menjadi lebih bagus dibandingkan menulis dengan pensil. Alasan yang disampaikan peserta uji adalah dikarenakan peserta uji belum terbiasa menulis dengan ballpoint sehingga cenderung merasa kesulitan dan merasa licin saat menggoreskan ujung ballpoint untuk menulis.
5. Dalam hal pengolahan citra, dari pengamatan pribadi peneliti bahwa penulisan dengan ballpoint memberikan kesulitan tersendiri dalam proses pengolahan citra, karena kondisi tinta yang kurang merata saat digoreskan. Hal ini memberikan nilai proses yang kurang sempurna, karena pixel gambar yang terputus dan tidak rata.

V. DAFTAR PUSTAKA

- 1) D. N. Besekar, Dr. R. Ramteke. *A Chain Code Approach For Recognising Modi Scrip Numerals*. Departement of Computer Science. Nort Maharashtra University. Jalgaon. India. 2011.
- 2) David Eberly, *Thin-Plate Splin*, Geometric Tool, LLC, <http://www.geometricktools.com/>, (Last Modified : 2011) diakses 6 Mei 2013.

- 3) Dian Muji Astutik. *Aplikasi Pembelajaran Menulis Untuk Anak Pra-Sekolah Dengan Menggunakan Capture Gerakan Sub Judul : Pengenalan*. Proyek Akhir Politeknik Elektronika Negeri Surabaya Institut Sepuluh Nopember. 2007.
- 4) Carl Friedrich Gauss. *Operasi Eliminasi Gauss*. 2009. http://id.wikipedia.org/wiki/Aljabar_linear. diakses 18 maret 2014.
- 5) Imran Siddiqi, Nicole Vincent. *A Set of Chain Code Based Features for Writer Recognition*. Paris Descartes University. Laboratoire CRIP5 – SIP 45. rue des Saints-Pères. 75006 Paris. France. 2009.
- 6) Riski Purwo Handariningsih. *Aplikasi Pengenalan dan Analisa Huruf Tulisan Tangan Menggunakan Metode Freeman Chain Code*. 2011. Universitas Gunadarma. <http://www.gunadarma.ac.id>. diakses 4 Mei 2013.
- 7) S. Madhvanath, G. Kim, and Venu Govindaraju, *Chaincode Contour Processing for Handwritten Word Recognition*, Senior Member, IEEE.
- 8) S. Bologie, J. Malik, and J. Puzicha, *Shape Matching and Object Recognition Using Shape Context*. IEEE Trans. Pattern Analysis and Mechin Intelligent, 24(4):509-522, April 2002.