

Pengenalan Angka Tulisan Tangan Online Menggunakan Metode *Structural Matching*

Nunut Priyo Jatmiko, Nanik Suciati, Andi KI

Jurusan Teknik Informatika,

Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS, Jl. Raya ITS, Sukolilo – Surabaya 60111, Tel. + 62 31 5939214, Fax. + 62 31 5913804

Email: nunutpj@its-sby.edu , nanik@its-sby.edu

ABSTRAK

Pengenalan tulisan tangan telah dilakukan lebih dari tiga dekade. Berbagai teknik pendekatan telah dilakukan dengan tujuan untuk lebih memudahkan manusia berinteraksi dengan mesin. Dalam penelitian ini akan mengimplementasikan perangkat lunak yang dapat mengenali satu digit angka tulisan tangan secara online menggunakan metode structural matching.

Ada beberapa tahap yang dilakukan dalam proses pengenalan. Tahap pertama adalah ekstraksi dan rekonstruksi struktur, tahap kedua adalah structural matching dan tahap ketiga adalah pasca proses. Pada tahap pertama yaitu ekstraksi dan rekonstruksi struktur, tulisan tangan dibagi menjadi beberapa ruas garis sesuai dengan nilai arah, dikelompokkan dan ditentukan tatabahasanya yaitu Up, Down, Loop, atau Line sebagai perwakilan dari tipe kurva sedangkan nilai arah diwakili dengan angka 0 sampai dengan 7. Pada tahap kedua, tatabahasa yang dihasilkan dari proses sebelumnya dibandingkan dengan tatabahasa pada data aturan sehingga dihasilkan himpunan angka yang memiliki struktur tatabahasa seperti pada tahap ekstraksi dan rekonstruksi struktur. Tahap ketiga, menentukan angka yang sesuai dengan tulisan tangan dari himpunan angka yang dihasilkan pada tahap structural matching.

Dari uji coba perangkat lunak yang telah dilakukan menunjukkan bahwa perangkat lunak yang dibuat mampu mengenali angka tulisan tangan dengan cepat yaitu kurang dari satu detik. Kelengkapan data aturan menjadi hal yang utama untuk menunjang kemampuan perangkat lunak dalam mengenali tulisan tangan.

Kata kunci : structural matching, pengenalan

1. PENDAHULUAN

Pengenalan tulisan tangan secara otomatis merupakan cara alamiah yang digunakan manusia untuk berinteraksi dengan komputer tanpa harus belajar beberapa keterampilan khusus misalnya mengetik. Penelitian dibidang ini telah dilakukan lebih dari tiga dekade. Berbagai pendekatan seperti statistik, syntactic dan structural, dan neural network telah dilakukan.

Pendekatan statistik merupakan pendekatan penyelesaian masalah berdasarkan pada model statistik, misalnya dengan menggunakan metode Bayesian. Pendekatan syntactic dan struktural adalah metode penyelesaian masalah dengan penggunaan tatabahasa yang mewakili bentuk formal, ataupun dapat juga diwakili dengan kumpulan huruf. Pendekatan neural network adalah pendekatan yang dilakukan dengan menggunakan contoh pada jaringan saraf pada manusia.

Sistem pengenalan tulisan tangan setidaknya perlu diperhatikan tiga hal, yaitu : kecepatan, keakuratan dan fleksibilitas. Kecepatan yang tinggi dan keakuratan selalu menjadi karakteristik kunci dari semua sistem. Fleksibilitas juga sangat penting terutama untuk mengenali tipe tulisan yang berbeda dari penulis yang berbeda.

Salah satu pendekatan yang bisa digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pengenalan tulisan tangan adalah metode structural matching. Pendekatan structural matching memiliki kecepatan dan keakuratan yang tinggi dan memiliki toleransi yang tinggi terhadap berbagai macam variasi bentuk tulisan tangan.

2. PENGENALAN TULISAN TANGAN

Penelitian mengenai pengenalan tulisan tangan baik secara *online* maupun *offline* telah dilakukan selama kurang lebih empat dekade [3]. Belakangan ini penelitian tersebut semakin meningkat seiring dengan semakin meningkatnya popularitas dari komputer saku dan notebook. Secara tradisional, manusia melakukan komunikasi dengan mesin menggunakan keyboard dan alat tunjuk (*pointing device*). Cara komunikasi seperti ini dapat menjadi sangat tidak nyaman ketika mesin tersebut memiliki ukuran yang sedikit lebih besar atau sama dengan kepala tangan manusia. Keyboard sangat sulit untuk berintegrasi dengan peralatan yang kecil dan ini selalu menentukan ukuran dari keseluruhan piranti. Karena adanya permasalahan tersebut, metode baru untuk peralatan input telah dikembangkan. Untuk contoh, adanya sistem yang mampu mengenali suara dan tulisan tangan. Kedua cara tadi (*pengenalan suara*

dan tulisan tangan) merupakan cara natural manusia untuk melakukan komunikasi, sehingga orang akan sangat mudah belajar untuk menggunakannya. Sayangnya, hal ini menjadi sangat tidak mudah bagi komputer yang memiliki kecerdasan berbeda dengan manusia.

Keakuratan yang tinggi sangat dibutuhkan untuk sistem yang menggunakan tulisan tangan ataupun suara sebelum dapat diterima secara luas. Menggunakan tulisan tangan sebagai cara untuk memasukkan data menjadi lebih menarik, terlebih lagi seperti dilingkungan yang ramai dan pada saat privasi sangat dibutuhkan.

Masalah yang utama dalam pengenalan tulisan tangan adalah gaya menulis yang berbeda dari masing-masing orang. Gaya tulisan seseorang juga dapat memiliki keragaman. Gaya tulisan tangan dapat berubah sejalan dengan waktu atau latihan. Dan juga tergantung pada suasana hati dari penulis serta situasi di sekelilingnya.

Sistem dari handwriting recognition dapat dibagi dalam berbagai kategori. Dalam membedakan tulisan tangan, hal yang paling utama adalah pada saat teks dikenali. Pengenalan dapat dilakukan baik secara *offline* ataupun *online* [3]. Teks juga dapat dibagi menjadi karakter, kata ataupun kalimat. Kumpulan dari karakter, gaya tulisan dan bahasa dari penulis juga menjadi sangat berpengaruh dalam metode pengenalan.

2.1. PENGENALAN *OFFLINE*

Pengenalan tulisan tangan sangat tergantung pada aplikasi yang digunakan. Aplikasi yang pertama adalah sistem dapat mengenali teks yang ditulis pada kertas. Pada sistem tersebut, kertas yang digunakan di-digitasi untuk mendapatkan gambar dua dimensi. Tipe pengenalan secara *offline* adalah pengenalan terhadap karakter, kata ataupun kalimat tidak pada saat melakukan penulisan tetapi pada saat setelah kegiatan menulis selesai. Metode *offline* untuk melakukan komunikasi kurang cocok bagi manusia dan mesin karena hal tersebut tidak menunjang kegiatan secara real time. Metode ini lebih cocok untuk konversi otomatis dari dokumen menjadi dokumen elektronik yang ditafsirkan atau proses tindak lanjut dilakukan oleh komputer. Beberapa contoh aplikasi yang menggunakan metode pengenalan secara *offline* antara lain, sorting e-mail otomatis, penanganan dokumen finansial, pengenalan penulis, verifikasi tanda tangan dan stenografi.

2.2. PENGENALAN *ONLINE*

Pada pengenalan secara *online* teks dimasukkan menggunakan peralatan khusus dan dikenali secara real time. Pengenalan secara *online* tentunya berbeda dari pengenalan secara *offline* karena adanya informasi yang dinamik pada saat menulis (kecepatan menulis, akselerasi, sudut dari pena, dan tekanan pada permukaan alat tulis). Berdasarkan test yang

telah dijalankan oleh E. Mandler, R. Oed dan W. Doster pada tahun 1985, bahwa informasi yang dinamik dapat meningkatkan ketepatan pengenalan.

2.3. KUMPULAN KARAKTER

Kumpulan karakter dari teks yang akan dikenali mempunyai efek yang krusial terhadap algoritma yang digunakan. Pengenalan menjadi sangat mudah saat jumlah dari karakter lebih sedikit dan tidak memiliki kesamaan. Karakteristik penting lainnya dari kumpulan karakter adalah jumlah tekanan pada satu buah karakter dan variasi dari bentuk tekanan. Sistem pengenalan telah dibuat untuk beberapa bahasa dan kumpulan karakter, antara lain : huruf Romawi, Arab, Jepang, China, India, Korea, dan lain-lain.

2.4. GAYA TULISAN TANGAN

Tulisan tangan memiliki variasi bentuk yang sangat banyak dibandingkan karakter yang dihasilkan oleh mesin. Faktor-faktor yang mempengaruhinya antara lain :

- **Variasi Karakter**

Gaya tulisan didasari oleh kelurusan dan variasi bentuk dari karakter. Tulisan tangan memiliki variasi pada properti statik dan dinamik. Properti statik yang mendasari adalah bentuk ideal dari karakter dan properti geometri seperti posisi relatif dan ukuran dari garis, sudut, ornamen, aspek rasio, ukuran, dan kemiringan. Properti dinamis lebih banyak dikaitkan dengan generatif dari karakter. Karakter dapat menjadi sangat serupa meskipun terdapat banyak variasi garis dan arahnya.

- **Garis dari Karakter**

Gaya tulisan tangan dapat diklasifikasikan menjadi empat kelas dasar [3], yaitu :

- boxed discrete, semua karakter ditulis dalam kotak.
- spaced discrete, tulisan lebih dibatasi dan karakter dipisah secara spasial oleh ruang yang signifikan atau oleh waktu antara penulisan karakter.
- run-on discrete, karakter dapat saling sentuh tetapi tidak ada garis yang menghubungkan antar karakter (pemisahnya adalah pada saat pena diangkat) dan,
- connected atau pure cursive handwriting, semua karakter pada satu kata biasanya terhubung semua.

Ada beberapa hal yang mempengaruhi gaya tulisan tangan, antara lain faktor latar belakang seseorang, faktor situasi, faktor peralatan, dan faktor batasan dalam tulisan.

a. Faktor latar belakang seseorang

Salah satu faktor latar belakang yang utama dari gaya tulisan adalah faktor tangan, yaitu penggunaan tangan kanan dan tangan kiri dalam menulis sehingga menimbulkan tulisan yang berbeda. Misalnya, pengguna tangan kiri lebih menyukai menggambar

garis horisontal dari kanan ke kiri sedangkan pengguna tangan kanan lebih menyukai kebalikannya. Faktor usia dan kesehatan mempengaruhi saraf gerak ketika menulis sehingga menimbulkan gaya pada tulisan. Pendidikan dan asal dari penulis memegang peranan yang penting dalam gaya tulisan karena beberapa bentuk karakter diajarkan di sekolah. Sebagai tambahan beberapa profesi ikut juga mempengaruhi gaya tulisan, terutama saat gaya tulisan dibutuhkan.

b. Faktor situasi

Situasi yang dimaksud adalah keterbatasan waktu sehingga penulis terburu-buru, motivasi dan metode untuk presentasi. Selain itu faktor kelelahan dan minat juga mempengaruhi.

c. Faktor peralatan

Peralatan menulis misalnya pena yang digunakan, bergantung pada ukuran dan kenyamanan. Kondisi permukaan tempat menulis, berhubungan dengan posisi dan gesekan. Tempat tulisan, seperti ukuran dari kertas yang digunakan, panjang dari garis tulis atau ukuran dari ruang tempat menulis karakter. Ketiga hal tersebut mempengaruhi gaya tulisan.

d. Faktor batasan dalam tulisan

Ketika diberikan batasan terhadap penulisan, misalnya pemisahan karakter yang ditujukan untuk meningkatkan performa pengenalan. Hal ini mempengaruhi efek gaya tulisan, kecepatan menulis dan hasil pengenalan.

2.5. KONTEKS

Teks adalah kumpulan karakter yang dapat dibagi menjadi unit dasar yaitu suku kata, frase, kalimat, baris, alinea dan lain-lain. Yang dimaksud konteks adalah unit disekitarnya yang memberikan arti bagi teks. Pengetahuan kontekstual meliputi probabilitas huruf, kombinasi yang legal dari huruf, tatabahasa yang menggambarkan sintaks dari bahasa.

3. TATABAHASA (GRAMMAR) DAN ATURAN (RULE)

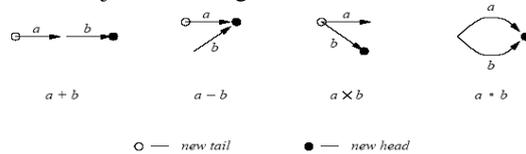
Dalam matematika diskret terdapat satu cabang ilmu yang khusus mempelajari tentang bahasa, yaitu teori bahasa formal. Bahasa yang dibahas pada teori bahasa formal adalah bahasa tulisan. Keuntungan dari penggunaan teori bahasa formal adalah bisa memodelkan pengenalan suku kata menggunakan Finite State Automata, yaitu suatu mesin abstrak yang dapat mengenali bahasa. Pembagian bahasa menurut Chomsky bahwa bahasa berdasarkan tatabahasanya dibagi menjadi empat kelompok, yaitu : Regular Grammar / Regular Language (RG/RL), Context Free Grammar / Context Free Language (CFG/CFL), Context Sensitive Grammar/Context Sensitive Language (CSG/CSL), Unrestricted Grammar / Unrestricted Language (UG/UL).[2]

4. METODE STRUCTURAL MATCHING

Pada metode structural matching yang digunakan untuk pengenalan karakter secara *online* [1], disusun berdasarkan perbaikan dari beberapa algoritma sebelumnya. Algoritma-algoritma tersebut antara lain *Picture Description Language (PDL)*, Berthod and Maroy's Encoding Scheme dan Freeman's Chain Cod.

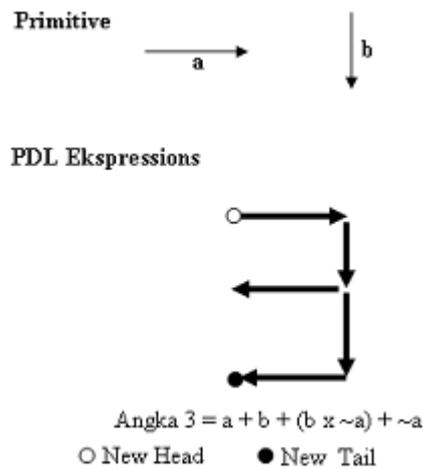
4.1. PICTURE DESCRIPTION LANGUAGE (PDL)

Picture Description Language (PDL) merupakan salah satu metode paling awal untuk mendeskripsikan pola bergambar dengan menggunakan bahasa formal. Pada PDL tiap primitive (bentuk dasar) memiliki dua point koneksi yaitu head dan tail. Untuk menggabungkan bagian dari ekspresi PDL digunakan operator binary yaitu +, -, x dan *. Sedangkan tanda ~ digunakan untuk membalik head dan tail dari primitive atau ekspresi PDL. Operator binary pada PDL ditunjukkan oleh gambar 1.



Gambar 1. Operator binary pada PDL

Contoh ekspresi PDL untuk angka 3 dapat dilihat pada gambar 2.



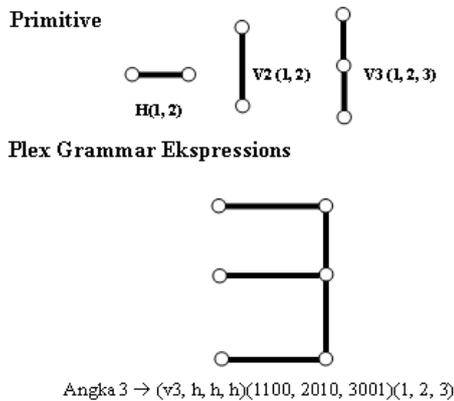
Gambar 2. Contoh dari ekspresi PDL

4.2. PLEX GRAMMAR

Plex Grammar didesain untuk mengatasi permasalahan dari keterbatasan PDL dengan cara mengijinkan lebih dari dua koneksi point. Struktur plex terdiri dari tiga komponen, yaitu :

- List dari nape
- List dari koneksi internal antar nape
- List dari titik pertemuan yang dapat digunakan untuk menggabungkan struktur plex dengan nape atau struktur plex yang lain.

Seperti pada gambar 3 ditunjukkan struktur pembentuk angka 3.



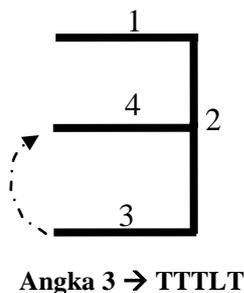
Gambar 3. Contoh dari structure plex

4.3. BERTHOD AND MAROY'S ENCODING SCHEME

Dalam Berthod and Maroy's Encoding Scheme terdapat lima primitive, yaitu :

- Straight line, disimbolkan dengan T,
- Positive curve (berlawanan arah dengan gerak jarum jam), disimbolkan dengan P,
- Minus curve (searah dengan gerak jarum jam), disimbolkan dengan M,
- Pen-lift, disimbolkan dengan L,
- Cusp, disimbolkan dengan R

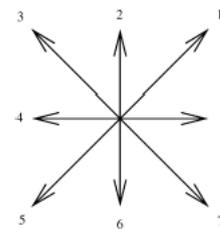
Angka 3 dapat dikodekan menjadi TTTLT, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Contoh dari Berthod and Maroy's scheme

4.4. FREEMAN'S CHAIN CODE

Pada Freeman's chain code terdiri dari delapan nilai arah yaitu dari 0 sampai 7 (gambar 5), yang menunjukkan bagaimana hubungan antara current point dengan next point. Tabel 1 berisi batasan besar sudut yang menyatakan arah 0 sampai 7.

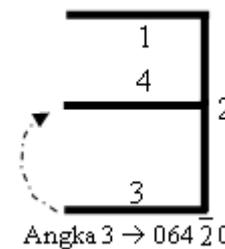


Gambar 5. Kode rantai Freeman

Tabel 1. Tabel Arah dan Besar Sudut

Arah	Besar Sudut		
0	345	-	15
1	15	-	75
2	75	-	105
3	105	-	165
4	165	-	195
5	195	-	255
6	255	-	285
7	285	-	345

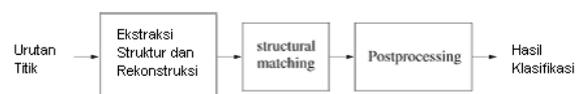
Sebagai contoh (gambar 6) angka 3 memiliki kode rantai yaitu 06420



Gambar 6. Contoh dari Freeman encoding scheme

4.5. PROSES PENGENALAN DENGAN STRUCTURAL MATCHING

Pada proses pengenalan karakter, yang pertama kali harus dilakukan adalah mengambil struktur primitif dari urutan point ke form persiapan struktur. Kadang-kadang, beberapa rekonstruksi mungkin diperlukan jika kondisinya memang belum tercapai. Dengan struktur final, kemudian kita membandingkan itu di dalam set model dan mencoba mencari yang cocok. Di sini kita memakai structural matching [1] untuk meningkatkan peluang mencari kecocokan. Bagaimanapun juga, kadang-kadang kita mendapatkan hasil yang ambigu dan oleh karena itu memerlukan klasifikasi lebih lanjut. Untuk lebih jelasnya proses pengenalan tulisan tangan dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Proses Pengenalan

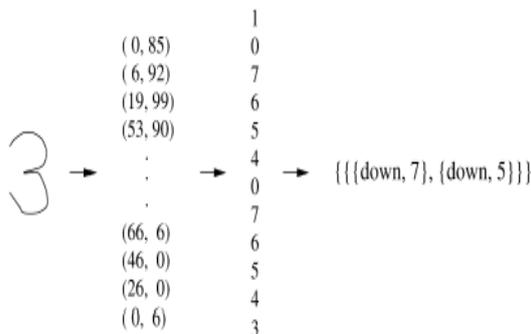
4.6. EKSTRAKSI STRUKTUR

Pada tiap karakter, bisa satu atau lebih percobaan. Tiap percobaan terdiri dari beberapa point yang mengikuti tepi dari bentuk tulisan saat pen-down hingga pen-up pada gaya penulisan tangan biasa. Setiap pasangan dari urutan point mempunyai arah. Untuk point yang arahnya sama atau punya sedikit perubahan arah, kita kelompokkan dalam satu segmen garis. Di sisi lain, jika ada perubahan arah yang tajam selama percobaan, akan kita representasikan dengan multiple segmen garis.

Karakter yang diinputkan oleh user terdiri dari segmen garis dan kurva. Pada tiap-tiap segmen garis atau kurva dapat diperluas sepanjang arah tertentu. Kurva yang menggabungkan dirinya pada titik tertentu disebut loop. Pada dasarnya terdapat lima tipe bentuk dasar, yaitu

- Line (garis),
- Up (Kurva yang berlawanan dengan arah putaran jarum jam),
- Down (Kurva yang searah dengan putaran jarum jam),
- Loop (Kurva yang menggabungkan dirinya pada titik tertentu), dan
- Dot (Segmen yang sangat pendek)

Pada gambar 8 dapat dilihat proses ekstraksi angka 3, dan dari hasil ekstraksi dapat ditentukan tatabahasa penyusunnya.



Gambar 8. Ekstraksi Struktur angka 3

4.7. REKONSTRUKSI STRUKTUR

Setelah mendefinisikan struktur awal, pada beberapa kondisi tertentu kita membutuhkan penggabungan antara beberapa garis dan kurva, atau ekstraksi yang lebih jauh mengenai sub-struktur, seperti loop.

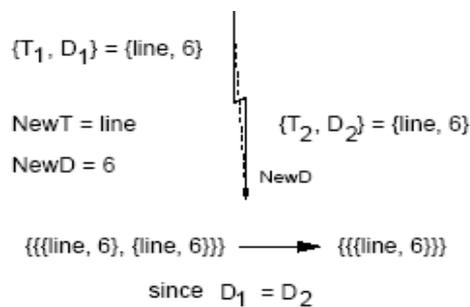
4.8. PENGGABUNGAN GARIS DAN KURVA

Pada tulisan tangan garis lurus yang dibuat dapat mengalami patahan yang disebabkan oleh kesalahan penulisan atau rendahnya kualitas alat input. Untuk menanggulangnya, dilakukan pemeriksaan tiap pasangan dari garis yang berurutan. Pada beberapa kondisi akan terdapat penggabungan dua primitive menjadi bentuk baru.

Tabel 2. Tabel 2 Beberapa kondisi penggabungan primitive

Primitive 1: {T1, D1}	Primitive 2: {T2, D2}	Kondisi	Primitive Baru {NewT, NewD}
{Line, D1}	{Line, D2}	D1 = D2	{Line, D1}
{Up, D1} or {Down, D1}	{Up, D2} or {Down, D2}	T1 = T2 = Joint Type	{T1, NewD}

Pada gambar 9, untuk menggabungkan dua garis bersama, arah garis harus sama

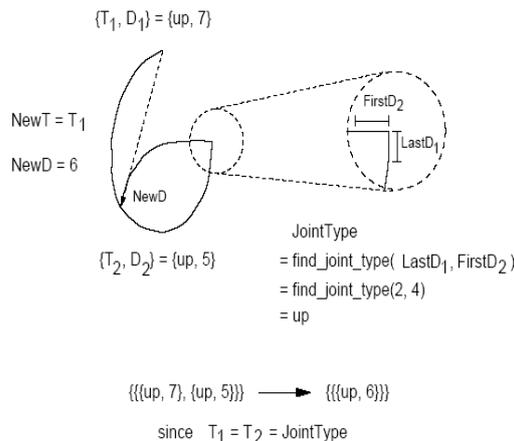


Gambar 9. Penggabungan dua garis

Menggabungkan kurva (gambar 10) merupakan proses yang sedikit lebih sulit. Pertama – tama kita harus menentukan tipe penggabungan yang mendeskripsikan bagaimana kurva tersebut dihubungkan. Contohnya, jika arah dari garis terakhir dalam segmen milik primitive pertama adalah 2 dan garis pertama dalam segmen milik primitive kedua adalah 4, hal ini menyatakan bahwa ada perubahan dari 2 ke 4. Seperti yang ditunjukkan di Gambar 12, ada dua alternatif untuk perubahan dari 2 ke 4. Karena kita selalu memilih jalan terpendek, dan maka dari itu, JointType = find_joint_type(2, 4) = up.

4.9. PENYAMAAN STUKTUR

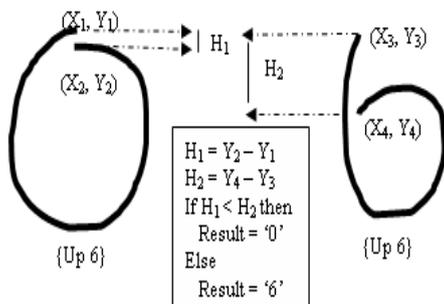
Tatabahasa akan dimiliki oleh karakter setelah melalui tahap ekstraksi dan rekonstruksi struktur atau dengan kata lain tatabahasa mewakili bentuk dari karakter. Pada penyamaan struktur, dari tatabahasa yang mewakili karakter dapat ditentukan karakter yang dimaksudkan oleh pengguna.



Gambar 10. Penggabungan dua kurva

4.10. PASCA PROSES

Terdapat beberapa bentuk yang ambigu, hal ini terjadi karena karakter memiliki tatabahasa yang sama untuk mendeskripsikan strukturnya. Misalkan angka 0 dan 6 seperti ditunjukkan pada gambar 11, memiliki tatabahasa yang sama, dan untuk membedakan maka dibuat aturan tambahan yang baru.



Gambar 11. Angka 0 dan 6

5. PERANCANGAN ALGORITMA

Terdapat tiga proses utama dalam pembuatan perangkat lunak pengenalan tulisan tangan menggunakan *structural matching*, yaitu proses rekonstruksi dan ekstraksi struktur, proses structural matching dan pasca proses.

5.1. ALGORITMA PROSES REKONSTRUKSI DAN EKSTRAKSI STRUKTUR

```

Begin
    Pembagian_struktur_arah_dan_angka ();
    Penentuan_jenis_kurva ();
    Penggabungan_jenis_kurva ();
End;
```

5.2. ALGORITMA PEMBAGIAN STRUKTUR ARAH DAN ANGKA

```

Begin
    Simpan_Data_Koordinat_Angka ();
    Menentukan_Arah_Kurva ();
    Menyederhanakan_Nilai_Arah ();
End;
```

Pada pembagian struktur arah dan angka, *simpan_data_koordinat_angka* dilakukan untuk menyimpan data dari pengguna yaitu tulisan tangan dalam bentuk himpunan koordinat titik. Dari data masukan pengguna, data diolah menjadi menjadi field, yaitu koordinat titik asal (X_1, Y_1), koordinat titik tujuan (X_2, Y_2), dan nilai arah yang didapatkan berdasarkan perhitungan pada tabel 1. Pada kenyataannya data yang dimasukkan memiliki nilai arah yang sama, untuk mengatasinya maka diperlukan fungsi *menyederhanakan_nilai_arah* yang pada intinya menggabungkan data masukan yang memiliki nilai arah yang sama.

5.3. ALGORITMA PENENTUAN JENIS KURVA

```

Begin
    Melakukan_Pengelompokan_Arah ();
    Menentukan_Grammar ();
End;
```

Penentuan_jenis_kurva digunakan untuk mendapatkan tatabahasa yang mewakili tulisan tangan. Dalam penentuan jenis kurva sebelum mendapatkan tatabahasa, terdapat dua proses yaitu melakukan pengelompokan arah dan menentukan grammar. Melakukan pengelompokan arah adalah membagi data masukan yang telah disederhanakan menjadi kelompok-kelompok berdasarkan tipenya Up, Down atau Line. Menentukan grammar dilakukan setelah terbentuk kelompok untuk memperoleh tatabahasa dari data masukan dapat berupa Loop, Up, Down, atau Line dan disertai dengan nilai arah.

5.4. ALGORITMA PENGGABUNGAN JENIS KURVA

```

Begin
    If (TipeKurvaNow = Line) and
    (TipeKurvaNext = TipeKurvaNow) and
    (ArahKurvaNext = ArahKurvaNow) then
        Melakukan_Penggabungan_Garis_Sama ();
    If (TipeKurvaNow = Up) and
    (TipeKurvaNext = TipeKurvaNow) then
        Melakukan_Penggabungan_Kurva_Sama ();
    If (TipeKurvaNow = Down) and
    (TipeKurvaNext = TipeKurvaNow) then
        Melakukan_Penggabungan_Kurva_Sama ();
End;
```

Untuk penggabungan jenis kurva, kurva diperiksa tipenya apabila tipe kurva yang akan

digabungkan memiliki syarat yang telah ditentukan seperti pada tabel 2. Pada proses melakukan penggabungan kurva sama didalamnya menyatakan aturan penggabungan sehingga dapat diketahui layak atau tidak layak kurva tersebut digabungkan.

5.5. ALGORITMA PROSES STRUCTURAL MATCHING

```

Begin
if (Grammar from ListGrammar) = (Grammar
from DataAturan) then
    Begin
        angka:= AngkaHasilPerbandingan;
        ListAngkaHasilPengenalan.add(angka);
    End;
End;

```

Pada proses *structural matching*, data yang diproses adalah data yang berasal dari penggabungan kurva. Data tersebut dibandingkan dengan data aturan untuk mendapatkan himpunan angka yang memiliki tatabahasa setelah dilakukan proses penggabungan kurva.

5.6. ALGORITMA PASCA PROSES

```

Begin
    Pemeriksaan_data_hasil_perbandingan();
    Menampilkan_angka_hasil_pengenalan();
End;

```

Pada pasca proses dilakukan pemeriksaan data hasil perbandingan yaitu himpunan angka yang dihasilkan memiliki jumlah anggota lebih dari satu. Apabila memiliki jumlah anggota lebih dari satu angka diperiksa lagi masing-masing angka secara tepat struktur koordinatnya sehingga dapat diketahui angka yang dimaksud. Apabila jumlah anggota satu maka proses menampilkan angka hasil pengenalan dapat dilakukan.

6. UJI COBA

6.1. LINGKUNGAN UJI COBA

Perangkat keras yang dipergunakan pada uji coba ini adalah komputer dengan prosesor AMD Athlon™ Xp 2000+, 1666 MHz dengan memori sebesar 256 MB. Sedangkan sistem operasi yang dipergunakan adalah Microsoft Windows XP Profesional (5.1, Build 2600). Digunakannya mouse sebagai alat input data berupa tulisan tangan.

6.2. DATA UJI COBA

Pada uji coba yang akan dilakukan, digunakan data yang berasal dari tulisan tangan pengguna, data tersebut dicatat sesuai dengan urutan gerakan menulis pengguna. Proses memasukkan data dianggap selesai apabila tombol proses ditekan atau selama kurang lebih satu detik mouse tidak ditekan. Data tulisan

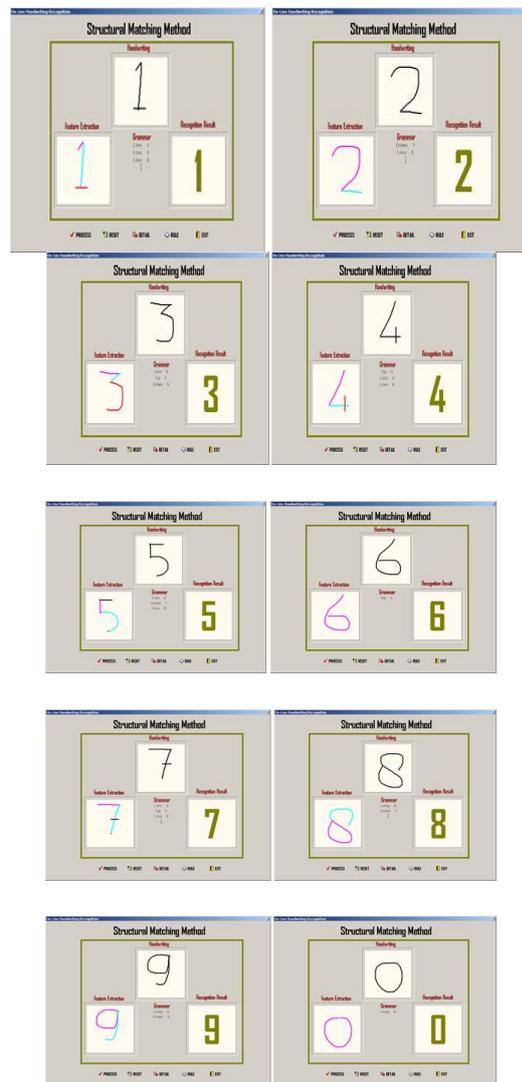
yang dimasukkan berupa angka mulai dari 0 sampai dengan 9.

7. ANALISA UJI COBA

Setelah dilakukan uji coba, diperoleh dua kelompok hasil uji coba yaitu kelompok yang berhasil mengenali tulisan tangan dan kelompok yang tidak mengenali tulisan tangan tersebut.

7.1. DAPAT DIKENALI

Beberapa kondisi yang diperlukan untuk pengenalan tulisan tangan, mulai dari data input, penggabungan data, penentuan grammar, data aturan dan pasca proses terpenuhi (gambar 12).



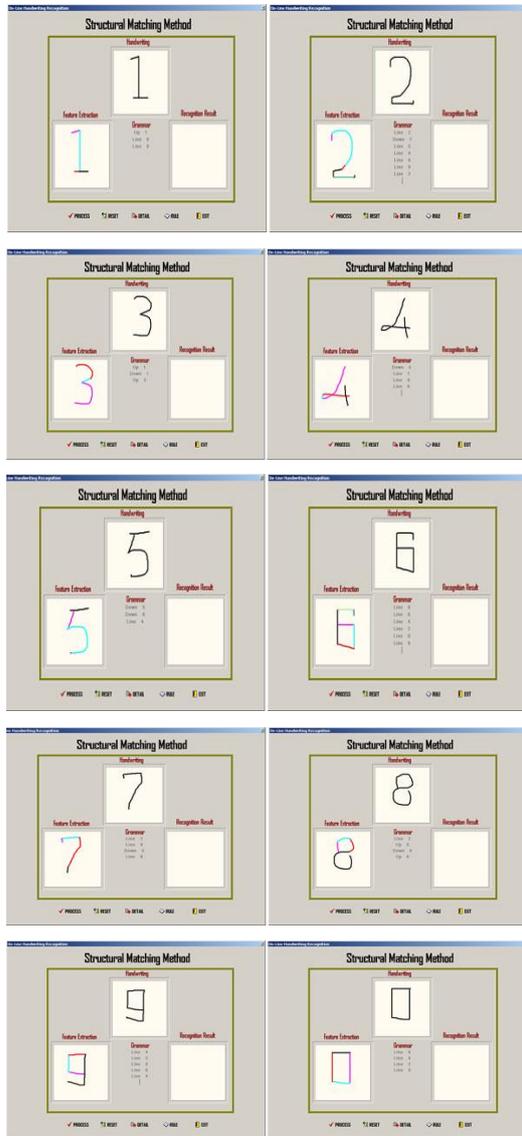
Gambar 12. Contoh tulisan yang berhasil dikenali

7.2. TIDAK DAPAT DIKENALI

Terdapat beberapa alasan tulisan tangan yang gagal dikenali :

1. Faktor yang utama adalah data aturan kurang lengkap, sehingga dari tatabahasa yang dihasilkan tidak dapat ditentukan angka yang dimaksudkan.

2. Faktor yang lain adalah permasalahan pada saat memasukkan data angka, yaitu tulisan kurang sempurna (gambar 13).



Gambar 13. Contoh tulisan tangan yang tidak berhasil dikenali

8. KESIMPULAN DAN SARAN

8.1. KESIMPULAN

Dari hasil uji coba yang dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Uji coba dilakukan terhadap sepuluh orang responden, prosentase tulisan tangan yang dikenali yaitu 71% untuk semua jenis angka.

Untuk angka delapan dan angka sembilan memiliki prosentase dikenali sangat kecil yaitu 43% dan 49%.

2. Pada proses pengenalan tulisan tangan waktu yang dibutuhkan untuk mengenali tulisan tangan adalah kurang dari satu detik.
3. Terdapat tulisan tangan yang tidak dapat dikenali, hal ini disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu :
 - Alat input yang digunakan dalam hal ini adalah mouse pergerakannya kurang lancar pada saat menulis.
 - Gaya tulisan tangan yang berbeda dari data aturan yang dimiliki.

8.2. SARAN

Algoritma structural matching dalam pengenalan tulisan tangan secara online memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan. Untuk pengembangan lebih lanjut terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu :

- Pada proses pengenalan tulisan dapat ditambahkan proses yang dapat secara otomatis melakukan perubahan tatabahasa yang dihasilkan sehingga meningkatkan kemampuan perangkat lunak untuk mengenali tulisan tangan.
- Penambahan data aturan baru untuk mengatasi permasalahan gaya tulisan tangan yang beraneka ragam.
- Dengan keunggulan waktu yang cepat untuk mengenali tulisan tangan, metode structural mathing dapat digunakan untuk mengenali karakter yang lain yaitu huruf.
- Pengenalan dilakukan tidak hanya pada satu karakter tapi bisa dilakukan pengenalan pada kelompok karakter atau kata.

9. DAFTAR PUSTAKA

1. Chan, Kam-Fai and Yeung, Dit-Yan, *Elastic Structural Matching for Recognizing Online Handwritten Alphanumeric Characters*, Maret 1998
2. Basuki, Thomas Agung, *Pengenalan Suku Kata Bahasa Indonesia Menggunakan Finite-State Automata*, Integral, volume 5 no. 2, 2000.
3. Vuori, Vuokko, *adaptive Online Recognition of Handwriting*, 1998