

PENGENALAN PEMBULUH DARAH JARI MANUSIA UNTUK AUTENTIKASI DENGAN MAXIMUM CURVATURE POINTS SEGMENTATION DAN TEMPLATE MATCHING

IDENTIFICATION OF FINGER-VEIN FOR AUTENTICATION WITH MAXIMUM CURVATURE POINT SEGMENTATION AND TEMPLATE MATCHING

Muhamad Hasan Wirasno¹, Andrew Brian Osmond S.T.,M.T², Anggunmeka Luhur Prasasti, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹hasanwirasno@student.telkomuniversity.ac.id, ²abosmond@telkomuniversity.ac.id,

³anggunmeka@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sebagai biometrik, pembuluh darah jari lebih diunggulkan dalam keamanannya dibandingkan dengan sidik jari. Karena pola pembuluh darah jari ada di dalam kulit sehingga sulit untuk dipalsukan. Agar pembuluh darah yang berada didalam kulit menjadi tampak perlu metode khusus. Sinar inframerah yang ditembakkan ke jari manusia memantul kembali, kecuali pembuluh darah. Hemoglobin yang sifatnya menyerap gelombang inframerah, membuat jalur pembuluh darah menjadi terlihat gelap pada kamera inframerah. Jalur pembuluh darah yang unik, dimanfaatkan untuk autentikasi. Alat yang didesain untuk menangkap citra pembuluh darah terdiri dari LED inframerah dipancarkan tembus melewati jari dan kamera *endoscope* sebagai penangkap citra pembuluh darah jari. Sistem terdiri dari pendaftaran yaitu memasukan nama dan pola pembuluh darah kedalam *database*. Citra pembuluh darah termasuk yang sulit untuk mengekstraksi cirinya metode *thresholding* dengan *otsu method* dan berbagai macam deteksi tepi menghasilkan segmentasi yang buruk. *maximum curvature point segmentation* diusulkan sebagai metode yang mengekstrak pembuluh darah berdasarkan titik maximum kurva. hasil dari *maximum curvature point* kemudian diproses lagi dengan metode *maximum pooling* lalu diklasifikasi dengan *template matching*. Dengan menggunakan sistem tersebut menghasilkan performa sebesar 90,89%.

Kata kunci : Biometrics Finger Vein, Template Matching, Autentikasi Pembuluh darah jari manusia, Maximum Curvature Points Segmentation.

Abstract

As a biometric, finger vein are more favored in security compared to fingerprints. Because the pattern of finger veins is inside the skin making it difficult to fake. So that the blood vessels inside the skin appear to need special methods. Infrared rays emitted on human fingers bounce back, except for blood vessels. Hemoglobin, which absorbs infrared waves, makes blood vessel pathways look dark on infrared cameras. Unique blood vessel pathway, used for authentication. A tool designed to capture the image of a blood vessel consisting of an infrared LED emitted through a finger and an endoscope camera as a catcher for the image of a finger vein. The system consists of registration, namely entering the name and pattern of blood vessels into the database. Blood vessel images including those that are difficult to extract feature the thresholding method with otsu methods and various types of edge detection resulting in bad segmentation. maximum curvature point segmentation is proposed as a method that extracts blood vessels based on the maximum point of the curve. the result of the maximum curvature point is then processed again with the maximum pooling method and then classified with template matching. Using the system produces a performance of 90.89%.

Keywords: Biometrics Finger Vein, Template Matching, Maximum Curvature Curvature Point Segmentation.

1. Pendahuluan

Biometrik adalah teknologi autentifikasi yang bisa digunakan sebagai pengamanan dimana teknologi tersebut membaca pola unik yang ada didalam tubuh manusia. Selain untuk pengamanan, biometrik juga bisa untuk mendata suatu identitas. Biometrik sendiri semakin diandalkan karena pola unik tersebut selalu dibawa oleh individu dan tidak mengeluarkan biaya dalam pembuatannya [1].

Berbagai macam biometrik sudah banyak dikembangkan antara lain biometrik sidik jari, suara, retina mata, wajah, dan pembuluh darah. Dalam proposal pengerjaan tugas akhir ini yang dikerjakan adalah biometrik pembuluh darah, meskipun yang sering dipakai adalah biometrik sidik jari [2].

Sistem autentikasi dengan pembuluh darah jari adalah autentikasi yang baru-baru ini berkembang, sistem ini menggunakan keunikan jalur pembuluh darah di jari tiap individu.

Pada dasarnya sinar inframerah dapat mendeteksi pembuluh darah. Sinar inframerah yang ditembakkan ke jari manusia dapat memantulkan kembali sinarnya kecuali di daerah tempat bagian pembuluh darah berada. Karena cahaya inframerah diserap oleh hemoglobin, sehingga sensor yang menangkap citra tepat pada garis pembuluh darah akan terlihat gelap. Dan kemudian garis-garis gelap tersebut akan diolah sebagai pola pembuluh darah.

Ekstraksi ciri dengan Maximum Curvature Point Segmentation dan metode klasifikasi Template Matching menunjukkan hasil performansi yang buruk. Oleh karena itu di dalam penelitian ini mencoba metode max pooling untuk memperbaiki performansi sistem recognition. Di dalam penelitian ini mencoba mencari konfigurasi sistem dengan performansi yang terbaik.

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu mengidentifikasi masalah, perancang model, perancangan sistem, pengujian sistem, analisis data, penyimpulan hasil dan penyusunan laporan tugas akhir.

2. Dasar Teori

2.1. Biometrik

Biometrik adalah sistem pengenalan individu berdasarkan ciri fisik dan perilaku unik seseorang. Ciri yang digunakan biometrik antara lain sidik jari, pola telapak tangan, suara, wajah, gerak tubuh, retina dan lain-lain. Biometrik terdiri dari dua, yaitu biometrik unimodal yang menggunakan satu buah biometrik dan biometrik multimodal yang menggunakan lebih dari satu biometrik. Biometrik bisa digunakan untuk akses ke dalam suatu sistem, pendaftaran kartu identitas, identifikasi jasad dan lain-lain. Syarat sebuah ciri individu bisa menjadi sebuah biometrik yaitu [10]

- Universal atau setiap individu harus memilikinya
- Unik tidak boleh ada yang sama
- Permanen
- Terukur atau dapat ditangkap oleh perangkat digital
- Harus memiliki tingkat performansi dalam memenuhi kendala yang diberlakukan oleh aplikasi.
- Pengguna harus bersedia menunjukkan ciri biometrisnya kepada sistem
- Tidak dapat ditiru atau dibuat replikanya

2.2 Computer vision

Dalam proses biometrik terdapat beberapa disiplin ilmu yang digunakan, salah satunya adalah Computer Vision. Computer Vision digunakan khusus untuk biometrik yang menggunakan citra dan video.

Computer vision adalah disiplin ilmu yang membuat komputer dapat memahami suatu gambar atau video digital. Yang mana fungsinya dapat memudahkan pekerjaan yang dikerjakan oleh penglihatan manusia. Computer vision terdiri dari akuisisi, pengolahan, analisis, dan pemahaman citra.

2.3 Pengolahan Citra Digital

Pengolahan citra digital adalah cabang ilmu informatika untuk memperbaiki kualitas citra agar kualitasnya lebih baik atau lebih mudah diinterpretasi oleh manusia maupun komputer. Input dari program pengolahan citra adalah citra dan outputnya pun citra [8].

Pengolahan citra dikembangkan bertujuan untuk [8]:

- Untuk memperbaiki tampilan citra (image enhancement).
- Untuk mengurangi ukuran file citra dengan tetap mempertahankan kualitas citra (image compression).
- Untuk memulihkan citra ke kondisi semula (image restoration).
- Untuk menyoroti ciri tertentu dari citra agar lebih mudah untuk di analisis

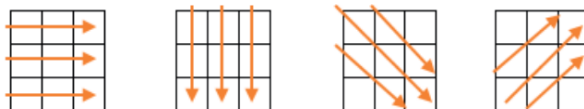
Contoh Pengolahan Citra Digital yaitu konversi dari citra berwarna ke skala abu-abu, peningkatan kualitas citra, dan deteksi tepi.

2.4 Ekstraksi Ciri

Ekstraksi ciri adalah proses pengambilan objek yang akan diteliti dengan latar belakangnya. Dalam aplikasi ini objek adalah pembuluh darah dan latar belakang adalah kulit. Dalam mengekstraksi pembuluh darah metode yang dipakai adalah Maximum Curvature Point Segmentation [3]. Adapun tahapan-tahapan:

- i. *Cross Sectional Profile* $P_f(z)$

Horizontal, Vertikal, 45° ke bawah, 45° ke atas



Gambar 2.3 *Cross Sectional Profile* [7]

- ii. Fungsi *Maximum Curvature Point* untuk menentukan pusat pembuluh darah.

$$\kappa(z) = \frac{d^2 P_f(z) / dz^2}{\{1 + (dP_f(z) / dz)^2\}^{\frac{3}{2}}} \quad (2.1)$$

- iii. *Scoring*, Perkalian antara intensitas dan lebar pembuluh darah.

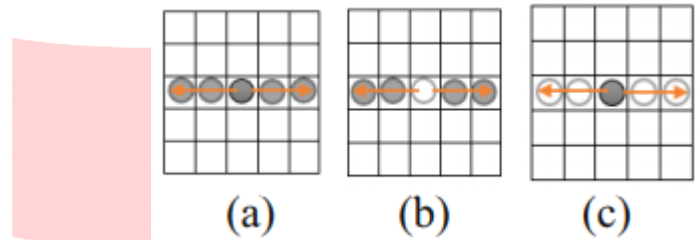
$$S_{cr}(z'_i) = \kappa(z'_i) \times W_r(i); \tag{2.2}$$

iv. Pemetaan, memetakan hasil dari scoring menuju ke frame baru $V(x,y)$

$$V(x'_i, y'_i) = V(x_i, y_i) + S_{cr}(z'_i). \tag{2.3}$$

v. Pengecekan Ketetangaan, pixel yang dicek adalah 2 pixel kekiri dan 2 pixel ke kanan.

$$C_{d1}(x, y) = \min\{\max(V(x + 1, y), V(x + 2, y)) + \max(V(x - 1, y), V(x - 2, y))\}. \tag{2.4}$$



Gambar 2.4 Pengecekan Ketetangaan[7]

vi. *Thresholding*, $G(x,y) = \text{Max}(C_{d1}, C_{d2}, C_{d3}, C_{d4})$ (2.5)

vii. *Labeling, binarization* jika $(x,y) \geq T$, maka 1 selain itu maka 0

2.5 Klasifikasi

Klasifikasi adalah bagian terakhir dari sistem biometrik yang berguna untuk pengenalan dari ciri. Ada beberapa metode yang digunakan seperti sift matching, LBP(Local Binary Patterns), LDP(Local Derivative Patterns), dan Template Matching [4x] [5x].

Template matching metode untuk mencari dan menemukan lokasi gambar template dalam gambar yang lebih besar. Dengan kata lain, pengenalan dilakukan dengan mencocokkan gambar, atau area gambar, ditetapkan dibandingkan dengan template representatif yang tersimpan dan dibandingkan sedemikian rupa sehingga penampilan mereka memainkan peran eksplisit dan mendasar [6x].

Template Matching berkerja dengan menggunakan koefisien korelasi. Apabila koefisien korelasi tersebut bernilai dengan batas yang ditentukan(Threshold) maka citra cocok. Berikut fungsi template matching.

$$r = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x,y) - f_{rata})(g(x,y) - g_{rata})}{\sqrt{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x,y) - f_{rata})^2 \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (g(x,y) - g_{rata})^2}} \tag{2.6}$$

yang mana r adalah koefisien korelasi ,f(x,y) dan g(x,y) untuk masing adalah nilai pixel pencocokan dan yang akan dicocokkan dari citra MxN

3. Pembahasan

3.1. Gambaran Sistem

Gambaran umum aplikasi ini sama seperti gambaran umum sistem biometrik pada umumnya yaitu secara garis besar memiliki dua fungsi utama yaitu pendaftaran (Enrollment) dan pengenalan (Recognition).



Gambar 3.1 diagram Blok Prose Pendaftaran



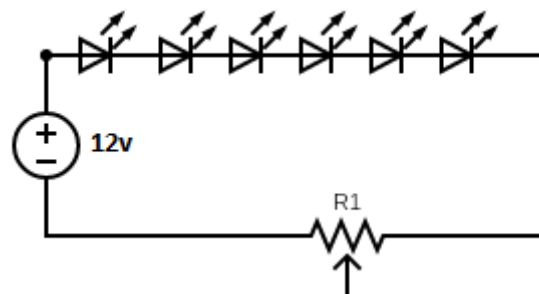
Gambar 3.2 diagram Blok Prose Pengenalan

3.2 Perancangan Model dan Perangkat Keras

Untuk dapat menampakan pembuluh darah diperlukan komponen dan sensor yang dapat menangkap dengan baik citra pembuluh darah. Komponen yang diperlukan yaitu LED inframerah sebagai cahaya yang dapat memperlihatkan pembuluh darah dan kamera endoscope sebagai penerima cahaya inframerah yang baik.

1. LED Inframerah

Tidak semua LED inframerah dapat menampakan pembuluh darah. LED inframerah dengan panjang gelombang 850nm digunakan karena mendekati dengan yang diusulkan makalah sebelumnya. LED yang dibutuhkan sebanyak 6 buah. LED kemudian dipasang secara seri dan ditambah dengan potensio resistor agar intensitas cahaya yang keluar dapat diatur. Rangkaian led tersebut diberi tegangan dc sebesar 12 volt dan arus sebesar 500mA.



Gambar 3.3. Desain Sirkuit LED

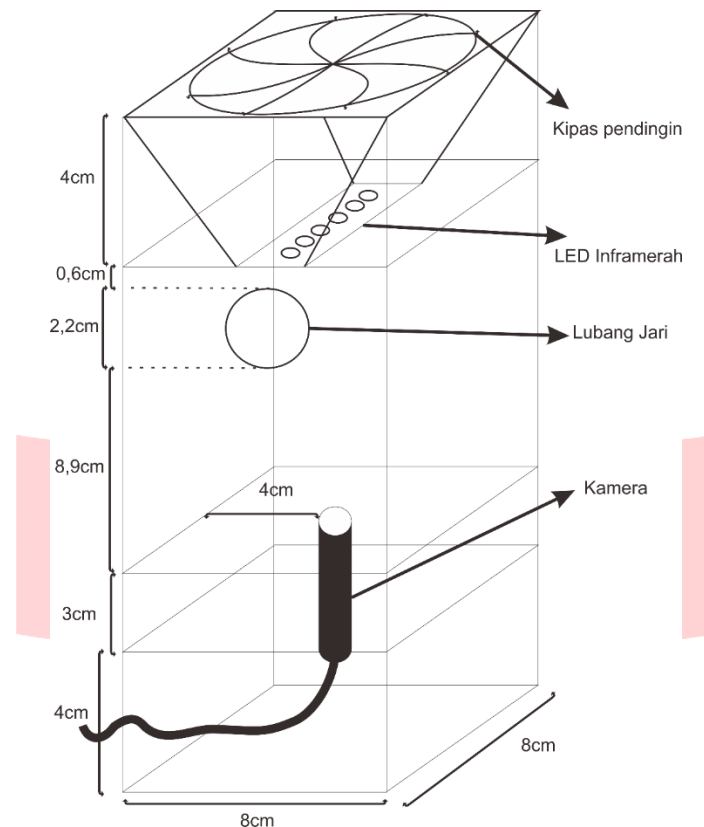
Terdapat masalah pada LED Inframerah yang apabila terlalu lama dinyalakan akan terbakar lalu mati. Oleh karena itu di dalam rangkaian LED dipasang komponen tambahan yaitu heatsink dan kipas agar LED bisa bertahan.

2. Kamera Endoscope

Dikarenakan tidak semua kamera dapat menangkap sinar inframerah maka kamera yang digunakan harus sesuai agar citra jari yang mengandung pembuluh darah dapat diakuisisi. Kamera endoscope digunakan karena dapat menangkap sinar inframerah dan juga kamera endoscope memiliki fokus yang pendek sesuai dengan kebutuhan.

3. Perancangan Model

Sebelum mendesain alat, kamera dan rangkaian LED harus dicoba terlebih dahulu untuk mendapatkan ukuran jarak jari dengan kedua perangkat yang paling optimal. Setelah mendapatkan jarak ukuran, baru kemudian mendesain model kerangka untuk nantinya dicetak dengan printer 3D. Kemudian alat dirakit sesuai dengan desain sebelumnya. Khusus ruang tempat jari, kamera, dan led diberi warna hitam agar sinar led tidak memberi pantulan.



Gambar 3.4. Gambar Desain Model

3.3 Perancangan Sistem

Sistem dibuat dengan menggunakan matlab. Sistem pengenalan pada aplikasi terdiri dari akuisisi citra, pengolahan citra, ekstraksi ciri dan klasifikasi.

3.3.1 Preprocessing

Citra yang baru ditangkap oleh kamera perlu diolah terlebih dahulu agar citra dapat dimengerti oleh komputer. Pengolahan sebelum ekstraksi ciri melibatkan image gray processing, ekstraksi ROI, Gray normalization, noise reduction, dan Retinex metode.

1. Image Gray Processing

Proses pengkonversian dari citra berwarna ke citra skala abu abu penting agar pembuluh darah dapat di ekstraksi. Pada dasarnya fungsi umum dari citra berwarna menuju skala abu abu.

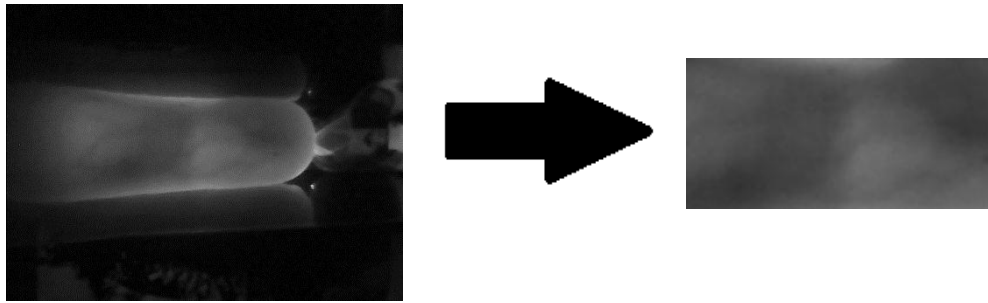
$$\text{Gray} = R*0.299 + G*0.588 + B*0.114 \quad (3.1)$$

Mengikuti penelitian citra pembuluh darah sebelumnya fungsi konversi yang diberikan pada aplikasi ini [7x].

$$\text{Gray} = R*0.4 + G*0.45 + B*0.15 \quad (3.2)$$

2. Ekstraksi ROI

Citra mentah yang sudah dalam skala abu abu kemudian diambil ROI(region of interest). Batas ROI diambil dari kedua bagian sisi jari dan ujung jari. Proses utama pengambilan ROI dalam sistem ini adalah deteksi tepi. Deteksi tepi adalah proses ekstraksi tepi berdasarkan nilai perubahan pixel tetangganya. Deteksi tepi yang digunakan adalah kirsh operator. Kirsch operator digunakan karena deteksi tepi ini sangat sempurna dalam ekstraksi tepi dibandingkan dengan deteksi tepi lainnya[8]. Setelah tepi sudah terekstraksi lalu citra diambil ROInya dengan cara melacak pixel kedua sisi jari dan ujung jari [9]. Lalu ukuran ROI dirubah menjadi 130x130 pixel.



Gambar 3.5 Dari Citra Akuisisi Perangkat ke Citra ROI

3. Grayscale Normalization

Grayscale Normalization adalah proses memperbaiki kontras dengan cara meregangkan histogram melalui fungsi berikut:

$$N(i, j) = \begin{cases} M_0 - \sqrt{\frac{V_0(I(i, j) - m)^2}{V}}, & I(i, j) > m \\ M_0 + \sqrt{\frac{V_0(I(i, j) - m)^2}{V}}, & I(i, j) \leq m \end{cases} \quad (3.3)$$

N adalah citra yang sudah dinormalisasi selama I input dalam keadaan skala abu abu. V_0 dan M_0 masing masing adalah varian dan rata rata dari citra Normalisasi yang sudah diinisiasi $V_0=150$ dan $M_0=255$. V adalah rentang nilai dari citra I. Dan m adalah rata rata dari input citra [7].

4. Adaptive Smoothing Filter

Metode ini digunakan karena baik diterapkan pada citra pembuluh darah karena noise dari citra inframerah tersebar secara merata dan memiliki komposisi yang menyerupai informasi pembuluh darah. Gaussian filter jika diterapkan pada citra pembuluh darah dapat menghilangkan informasi pembuluh darah itu sendiri [7].

5. Metode Retinex

Kemudian metode retinex dapat menghitung rasio antara dua area yang berbeda untuk memperjelas area objek tepi atau batas dan mengatasi perbedaan pencahayaan yang diterima oleh objek [7].

3.3.2 Ekstraksi ciri

Setelah proses preprocessing maka dilanjutkan dengan proses ekstraksi ciri dengan menggunakan metode maximum curvature point.



Gambar 3.6. Citra Hasil Ekstraksi Ciri dengan Maximum Curvature Point

3.3.3 Maximum Pooling

Citra yang baru saja diekstraksi cirinya tidak bisa langsung dijadikan template, karena terlalu banyak pixel yang tergeser yang membuat hasil pencocokan dengan template matching menjadi sangat kecil. Oleh karena itu digunakan max pooling dari metode CNN(Convolution Neural Network) untuk mereduksi input secara spasial. Penyesuaian max pooling yang digunakan dalam aplikasi ini yaitu kernel 4x4 dan pergeseran kernel 4 dan dilakukan dua kali proses max pooling.



Gambar 3.7. Pemrosesan Maximum Pooling

3.3.4 Klasifikasi dengan Template Matching

Output dari template matching adalah nilai korelasi dari dua citra. semakin mirip kedua citra maka nilai korelasinya akan semakin besar. Dari nilai korelasi tersebut kemudian diberi threshold untuk menentukan mana yang diterima dan mana yang ditolak. Nilai threshold yang diberikan kedalam sistem memunculkan persentase FAR dan FRR. Masing masing yaitu persentase kesalahan penerimaan dan kesalahan tidak diterima. Persentase FAR dan FRR saling berkebalikan membuat setiap perubahan nilai threshold dapat memperbesar atau memperkecil selisih dari FAR dan FRR itu sendiri. Oleh karena itu nilai threshold terbaik yang dibebankan kedalam sistem adalah nilai yang membuat persentase FAR dan FRR memiliki selisih terkecil.

4. Pengujian dan Analisis

Sama seperti pengujian biometrik pada umumnya yaitu menganalisis sistem supaya mendapatkan performa yang baik. Dalam makalah ini cara untuk mendapatkan peforma yang baik yaitu dengan mengubah konfigurasi dua metode yaitu parameter metode maximum curvature point dan perulangan mask max pooling. Hasil di pengujian berupa nilai FAR dan FRR yang sudah disesuaikan thresholdnya agar kedua nilai tersebut bisa diambil kesimpulan.

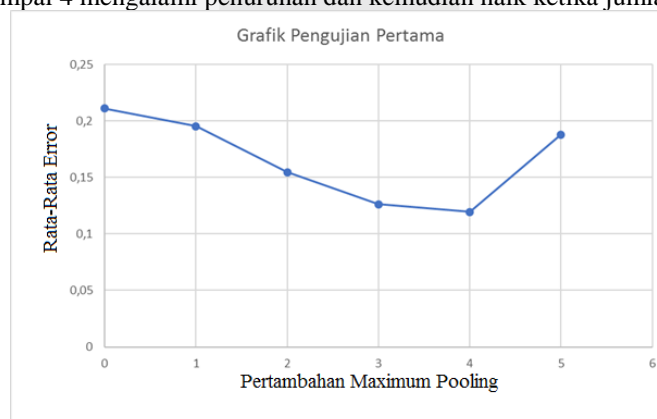
4.1 Hasil Pengujian

Di dalam pengujian terdapat lima hasil pengujian yaitu yang pertama adalah pengujian dengan tanpa max pooling lalu kemudian dilanjutkan dengan menggunakan max pooling satu kali sampai lima kali. Nilai hasil pengujian berisi nilai rata-rata FAR dan FRR dari tiap perubahan jumlah max pooling, yang mana rata-rata FAR dan FRR adalah rata-rata dari konfigurasi variabel sigma MPC 1 sampai 10.

Tabel 4.1 Performansi sistem dengan citra ekstraksi ciri skeletonization

Max Pooling	FAR	FRR	Rata-rata
0	21,02%	21,21%	21,11%
1	21,29%	17,80%	19,55%
2	13,71%	17,25%	15,48%
3	13,16%	12,13%	12,64%
4	11,68%	12,24%	11,96%
5	17,69%	19,88%	18,78%

Dari tabel 4.1 terlihat bahwa penambahan max pooling mempengaruhi rata-rata error sistem biometrik. Dari jumlah max pooling 0 sampai 4 mengalami penurunan dan kemudian naik ketika jumlah max pooling menjadi 5.



Gambar 4.1. grafik error berdasarkan perubahan jumlah max pooling

Berdasarkan hasil pengujian diperlihatkan bahwa max pooling dengan perulangan sebanyak 4 kali adalah perulangan max pooling dengan error terendah. Dari max pooling dengan perulangan sebanyak 4 kali kemudian bisa dilihat lebih lanjut untuk mengetahui konfigurasi variabel sigma MPC mana yang memberikan nilai error terendah.

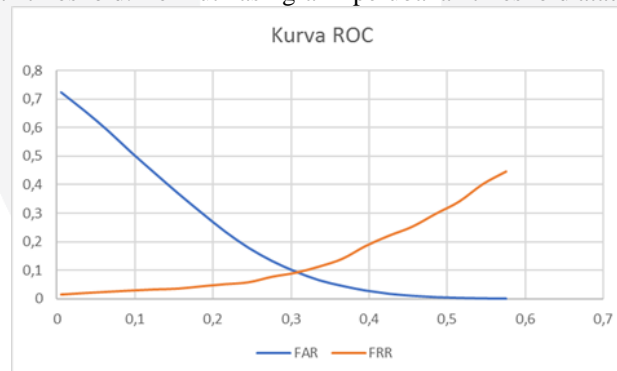
Tabel 4.2 Performansi sistem dengan perulangan max pooling empat kali

SIGMA MCP	FAR	FRR	RATA- RATA
1	14,15%	15,41%	14,78%
2	22,45%	23,41%	22,93%
3	10,84%	11,63%	11,23%
4	9,51%	10,30%	9,90%
5	8,61%	11,19%	9,90%
6	9,98%	8,89%	9,44%
7	8,75%	11,33%	10,04%
8	8,50%	10,59%	9,54%
9	12,10%	9,93%	11,01%
10	11,95%	9,78%	10,86%
Rata-Rata			11,96%

Berdasarkan Tabel 4.2 yaitu performansi dengan empat kali max pooling didapatkan variabel sigma MPC 6 adalah variabel dengan error terkecil dan menjadi acuan untuk diterapkan kedalam sistem.

4.2 Kesimpulan Pengujian

Pengujian dengan konfigurasi variabel pengubah = 6 dan ukuran mask = 2x2 dan 4 kali perulangan menjadi pengujian dengan error terkecil diantara ketiga pengujian. Setelah diketahui konfigurasi terbaik lalu dicari ERR dengan merubah threshold. Berikut hasil grafik perubahan threshold atau kurva ROC:



Gambar 4.2. Kurva ROC Sumbu X Adalah Threshold Sumbu Y adalah error

Hasil dari metode ERR menghasilkan error sebesar 9,11% dan threshold sebesar 0,3095.

5. Kesimpulan

Dari pengujian dan Analisis yang dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Citra pembuluh darah yang sudah terekstrasi ciri tidak bisa menjadi template untuk klasifikasi, karena memiliki error yang besar. Oleh karena itu diperlukan proses lebih lanjut.
2. Proses maximum pooling dari algoritma Convolutional neural network selain untuk mereduksi input secara spasial juga bisa membuat sistem mengklasifikasikan objek jadi lebih baik.
3. Konfigurasi yang diterapkan kedalam sistem yaitu variabel pengubah bernilai 6 dan dua kali proses maximum pooling dengan kernel mask 2x2 sebanyak empat kali menghasilkan ERR sebesar 9,11%.

Daftar Pustaka:

- [1] Yuhang Ding, Dayan Zhuang and Kejun Wang. *A Study of Hand Vein Recognition Method*. (2005). Department of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China.
- [2] Lingyu Wang, Graham Leedham, David Siu-Yeung Cho. (2008). *Minutiae feature analysis for infrared hand vein pattern biometrics*. Singapore University of New South Wales Asia, 1 Kay Siang Road, Singapore 248922, Singapore.
- [3] Naoto Miura, Akio Nagasaka, Takafumi Miyatake. (2005). *Extraction of Finger-Vein Patterns Using Maximum Curvature Points in Image Profiles*. Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd. 1-280 Higashi-koigakubo, Kokubunji-shi, Tokyo 185-8601 Japan.
- [4] Pierre-Olivier Ladoux, Christophe Rosenberger, and Bernadette Dorizzi. (2009). *Palm Vein Verification System Based on SIFT Matching*. Institut TELECOM Télécom & Management SudParis 9 Rue Charles Fourier, 91011 Évry Cedex, France.
- [5] Junichi Hashimoto. (2006). *Finger Vein Authentication Technology and its Future*. Information & Telecommunication Systems Group, Hitachi, Ltd. Kawasaki, Kanagawa, Japan.
- [6] Pengzhuang Wang, Dongmei Sun. (2016). *A research on palm vein recognition*. Institute of Information Science, Beijing Jiaotong University, Beijing, China.
- [7] Anggunmeka Luhur Prasasti, Richard Karel Willem Mengko, and Widyawardana Adiprawita. (2015). *Vein Tracking Using 880nm Near Infrared and CMOS Sensor with Maximum Curvature Points Segmentation*. Biomedical Engineering (BME), STEI Institut Teknologi Bandung (ITB) Bandung, Indonesia.
- [8] Hidayatullah, Priyanto. 2017. *Pengolahan Citra Digital Teori dan Aplikasi Nyata*. Bandung: Informatika.
- [9] Fauzan Suryahadi. 2017. *Sistem Identifikasi Biometrik Finger Vein Menggunakan Metode Personalized Discriminative Bit Map* [skripsi]. Bandung (ID): Universitas Telkom.
- [10] Flynn, P.J., Jain, A.K. and Ross, A.A. eds., 2008. *Handbook of biometrics*. Springer.