

Pengaplikasian Aljabar Vektor dan Transformasi Lanjar untuk Pemindai Wajah Tiga Dimensi

Martino Christanto Khuangga - 13514084

Program Studi Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

13514084@std.stei.itb.ac.id

Abstract—Di era modern ini, telah diciptakan banyak sekali teknologi yang mampu mengubah data tidak digital yang kita miliki menjadi data digital. Salah satu teknologi tersebut adalah pemindai wajah tiga dimensi. Makalah ini akan menjelaskan proses kerja dari alat pemindai wajah tiga dimensi dengan pendekatan aljabar vektor dan aljabar geometri.

Keywords—pemindai wajah, tiga dimensi, aljabar vektor

I. PENDAHULUAN

Pemindai wajah tiga dimensi adalah sebuah alat yang mampu mengidentifikasi wajah manusia dan merealisasikannya dalam gambaran digital tiga dimensi. Dasar dari algoritma alat pemindai wajah tiga dimensi ini adalah algoritma dari generasi sebelumnya, pemindai wajah dua dimensi, yang telah dimodifikasi sehingga memiliki akurasi yang lebih tinggi dalam membaca wajah manusia.

Metode pemindaian wajah ini diciptakan sebagai salah satu bentuk peningkatan sistem keamanan di era modern ini. Selain keamanan, pemindaian wajah juga digunakan untuk mempermudah bidang-bidang keilmuan yang lain, seperti pemindaian pola, jaringan saraf, dan psikologi [2].

Seperti yang telah disebutkan di atas, pemindai wajah hanya dalam dua dimensi saja. Dalam perkembangannya, ditemukan kelemahan-kelemahan pada sistem pemindai dua dimensi ini. Misalnya masalah orientasi wajah, penggunaan *make-up*, ekspresi, dan juga pencahayaan pada wajah [3]. Dari kelemahan-kelemahan ini kemudian diciptakan sebuah algoritma baru yang dapat membaca wajah secara tiga dimensi agar diperoleh akurasi yang lebih tinggi.

Pemindai wajah tiga dimensi menganalisis wajah manusia secara tiga dimensi. Alat ini akan memproyeksikan titik-titik dalam koordinat kartesian, yang merepresentasikan wajah seseorang. Kemudian alat ini akan mencari proyeksi-proyeksi dari berbagai sudut pandang agar dapat terbentuk wajah tiga dimensi dalam proyeksi nantinya.

Secara garis besar, algoritma pemindaian wajah ini dirumuskan dengan tiga langkah, yaitu pendeteksian wajah, pengeluaran bentuk digital wajah, dan pemindaian wajah. Pendeteksian wajah adalah suatu proses

pengambilan data wajah manusia secara keseluruhan dari berbagai daerah wajah. Pengeluaran bentuk digital wajah diawali dengan pembacaan fitur-fitur detail wajah, seperti ekspresi, sudut pandang, bentuk pipi, dll. Detail-detail ini nantinya akan digunakan untuk pengoptimalan basis data wajah seseorang, sehingga didapatkan data dengan akurasi tinggi [1]. Namun, algoritma pemindaian wajah yang baru, sudah tidak melalui proses pendeteksian wajah lagi.

Algoritma-algoritma ini sebenarnya dibuat berdasarkan sistem perhitungan aljabar vektor dan transformasi lanjar. Dari sistem kerja alat pemindai wajah tersebut, kita ketahui bahwa alat pemindai wajah tiga dimensi membaca wajah manusia dengan banyak proyeksi dari berbagai sudut pandang, sehingga kita bisa lihat hasil tiga dimensi pada alat pemindai tersebut.

Dalam proses perhitungan proyeksi wajah, kita juga tak lepas dari matriks, yang merupakan salah satu cara untuk mempermudah perhitungan pada sistem persamaan lanjar. Dengan demikian, memang proses pemindaian wajah ini adalah suatu kombinasi yang kompleks dari keilmuan-keilmuan aljabar vektor.

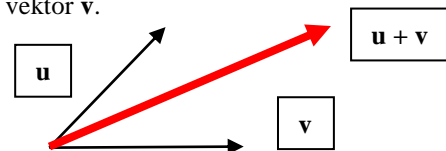
Dengan dibuatnya makalah ini, pembaca diharapkan dapat mengerti proses pengaplikasian aljabar vektor dan geometri pada proses pemindaian wajah tiga dimensi.

II. DASAR TEORI

A. Aljabar Vektor

Vektor adalah sebuah besaran yang tidak hanya memiliki nilai, tetapi juga arah. Vektor dilambangkan dengan anak panah. Dengan panjang dari anak panah tersebut merepresentasikan besar vektor dan mata anak panah menunjukkan arah vektor.

Ada beberapa operasi dasar vektor. Operasi yang pertama adalah penjumlahan vektor [11]. Misalkan diketahui vektor \mathbf{u} dan \mathbf{v} . Hasil penjumlahan $\mathbf{u} + \mathbf{v}$ adalah penjumlahan dari setiap komponen dalam vektor \mathbf{u} dengan vektor \mathbf{v} .



Gambar 1 Operasi Penjumlahan Vektor

Operasi kedua adalah pengurangan vektor. Operasi ini pada dasarnya sama dengan penjumlahan vektor, karena $\mathbf{u} - \mathbf{v}$ sama dengan $\mathbf{u} + (-\mathbf{v})$. Jadi hasil dari pengurangan vektor adalah pengurangan setiap komponen vektor \mathbf{u} dengan setiap komponen pada vektor \mathbf{v} .

Operasi yang kedua adalah operasi perkalian vektor. Ada tiga macam perkalian vektor, yaitu perkalian dengan skalar, perkalian dot, dan perkalian silang. Perkalian dengan skalar dilakukan dengan mengalikan setiap komponen yang ada pada vektor dengan sebuah nilai skalar. Perkalian dot adalah perkalian antara dua buah vektor yang menghasilkan skalar. Perkalian silang antara dua buah vektor adalah perkalian yang menghasilkan vektor kembali.

Misalkan ada sebuah vektor \mathbf{u} dan \mathbf{v} dan sebuah skalar k . Maka :

$$k\mathbf{u} = (ku_1 + ku_2 + \dots + ku_n) \quad (1)$$

$$\mathbf{u} \cdot \mathbf{v} = \|\mathbf{u}\| \|\mathbf{v}\| \cos \alpha \quad (2)$$

Dengan $\|\mathbf{u}\|$ adalah norma dari vektor \mathbf{u} dan α adalah sudut antara vektor \mathbf{u} dan \mathbf{v} [11]. Persamaan (1) adalah persamaan yang menyatakan perkalian sebuah vektor dengan skalar dan persamaan (2) adalah persamaan yang menyatakan dot vektor.

Seperti yang tertulis pada persamaan (2), untuk menghitung hasil perkalian dot vektor, diperlukan norma vektor. Norma sebuah vektor adalah panjang dari sebuah vektor [11]. Norma vektor dapat dihitung dengan cara berikut :

$$\|\mathbf{u}\| = \sqrt{(U_1)^2 + (U_2)^2 + (U_3)^2 + \dots + (U_n)^2} \quad (4)$$

Kemudian operasi yang terakhir adalah operasi perkalian silang vektor. Perkalian vektor \mathbf{u} dan \mathbf{v} di \mathbb{R}^3 dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\mathbf{u} \times \mathbf{v} = \left(\begin{vmatrix} u_2 & u_3 \\ v_2 & v_3 \end{vmatrix}, - \begin{vmatrix} u_1 & u_3 \\ v_1 & v_3 \end{vmatrix}, \begin{vmatrix} u_1 & u_2 \\ v_1 & v_2 \end{vmatrix} \right) \quad (5)$$

Selain operasi vektor, terdapat istilah vektor normal. Vektor normal adalah sebuah vektor yang tegak lurus dengan suatu bidang [11]. Sehingga hasil kali dot vektor normal dengan bidang yang bersangkutan adalah 0.

B. Transformasi Lanjar

Transformasi lanjar diartikan sebagai transformasi dari satu ruang vektor ke ruang vektor lain [11]. Transformasi dinotasikan dengan $T : V \rightarrow W$, yang berarti T adalah sebuah transformasi dari ruang vektor V ke ruang vektor W .

Sebuah transformasi dikatakan transformasi lanjar jika memenuhi criteria sebagai berikut :

$$T(\mathbf{u} + \mathbf{v}) = T(\mathbf{u}) + T(\mathbf{v}) \quad (6)$$

dan

$$T(k\mathbf{u}) = kT(\mathbf{u}) \quad (7)$$

III. METODE PEMINDAIAN WAJAH

Pemindaian wajah dapat dilakukan dengan berbagai metode. Dalam makalah ini akan dibahas empat metode secara garis besar saja.

A. Metode Berbasis Pengetahuan (Knowledge-based Methods)

Metode ini memanfaatkan pengetahuan manusia mengenai wajah pada umumnya. Sebagai contoh, wajah pada umumnya memiliki dua mata, satu hidung, satu mulut yang terletak secara simetris pada wajah [4].

Dari deskripsi di atas, kita ketahui bahwa metode ini memiliki keterbatasan, karena hanya mengambil ciri-ciri wajah secara umum saja. Padahal, wajah setiap orang memiliki ciri-ciri yang spesifik, yang membedakan wajah satu dengan wajah lainnya.

B. Metode Fitur Invarian (Feature-invariant Methods)

Metode ini adalah kelanjutan dari metode pemindaian berbasis pengetahuan manusia. Tujuan dari metode ini adalah untuk menemukan fitur pada wajah sehingga wajah bisa dideteksi oleh alat yang dibuat [10]. Metode ini akan mengambil data wajah berdasarkan gambar, bukan berdasarkan pengetahuan manusia lagi.

Kelebihan metode ini dari metode sebelumnya adalah dapat membaca fitur-fitur wajah yang spesifik. Namun, masih terdapat kelemahan pada algoritma ini, yaitu ketika terdapat fitur bukan wajah lain, seperti kacamata dan tindak [1].

C. Metode Pencocokan Klise (Template Matching Methods)

Metode ini menggunakan basis data wajah yang dimiliki alat pemindai untuk mencocokkan wajah yang sedang dibaca [3]. Basis data yang dimiliki alat merupakan gambar wajah dua dimensi. Setelah dicocokkan dengan gambar dua dimensi, maka wajah akan dibaca dan dibuat model tiga dimensinya oleh alat.

Metode ini merupakan pengembangan dari metode yang dibahas sebelumnya. Tujuan utama dari metode ini adalah mengatasi kesalahan pembacaan fitur-fitur bukan wajah yang dikenakan manusia.

Kelemahan dari metode ini adalah metode ini hanya sangat akurat saat membaca wajah dari depan saja [1].

D. Metode Berbasis Penampilan (Appearance-based Methods)

Metode ini mempelajari masukan wajah yang ada. Alat pemindai akan mempelajari karakteristik wajah dengan menggunakan statistik dan *machine-learning* [1].

Metode ini dikatakan sebagai metode yang paling mutakhir dalam pemindaian wajah, karena karakteristik wajah langsung dibaca saat itu juga, tanpa bergantung pada sebuah klise atau pengetahuan manusia lagi.

Keempat metode yang dibahas pada makalah ini,

semuanya menggunakan aplikasi aljabar vektor dan transformasi linier pada proses yang sama. Hanya saja berbeda dari segi efisiensinya saja, karena masing-masing metode diciptakan pada periode yang berbeda dan beberapa metode merupakan hasil pengembangan dari metode-metode sebelumnya.

IV. PHOTOMETRIC STEREO

A. Pengertian

Photometric stereo adalah sebuah teknik untuk mengukur kedalaman dan permukaan sebuah gambar dari berbagai arah [6]. Metode ini juga digunakan dalam proses pemindaian wajah. Pada awal proses pemindaian wajah, proses yang pertama kali dilakukan adalah proses pengukuran permukaan wajah. Proses tersebut akan lebih mudah jika menggunakan teknik *photometric stereo* ini.

Pada makalah ini, diasumsikan perhitungan dalam teknik *photometric stereo* ini menggunakan model permukaan Lambertian. Permukaan Lambertian adalah sebuah permukaan yang diasumsikan memiliki terang yang sama dilihat dari sisi manapun. Selain itu, permukaan Lambertian juga diasumsikan memantulkan semua cahaya yang menuju permukaan tersebut [7].

Teknik *photometric stereo* terdiri dari dua proses. Proses yang pertama adalah proses pemindaian permukaan menggunakan albedo dari berbagai warna (yang biasa digunakan adalah merah, biru, dan hijau) dan proses yang kedua adalah proses perhitungan kedalaman, yang memerlukan vektor normal dalam proses perhitungannya. Proses kedua ini berguna untuk membuat hasil pemindaian menjadi tiga dimensi.

B. Proses Pemindaian Permukaan

Pada pernyataan sebelumnya, telah disebutkan bahwa dalam makalah ini menggunakan asumsi permukaan Lambertian. Dengan demikian, sebuah objek 3 dimensi yang diamati, dalam hal ini wajah manusia, mempunyai intensitas pada setiap titiknya adalah sebagai berikut :

$$I = k_d N \cdot L \quad (8)$$

di mana I adalah intensitas, k_d adalah sebuah konstanta, N adalah vektor normal permukaan yang dipindai, dan L adalah arah dari cahaya yang dipantulkan [6].

Kita bisa lihat dari persamaan ini bahwa prinsip vektor bahkan sudah dibutuhkan mulai dari saat proses pemindaian wajah dilakukan. Namun, tidak sampai di situ saja penerapan vektor yang ada pada teknik *photometric stereo* ini. Persamaan (8) di atas, masih dapat kita nyatakan sebagai berikut :

$$I_n = k_d (N_x * L_{nx} + N_y L_{ny} + N_z L_{nz}) \quad (9)$$

yang juga merupakan vektor. Jika dimisalkan :

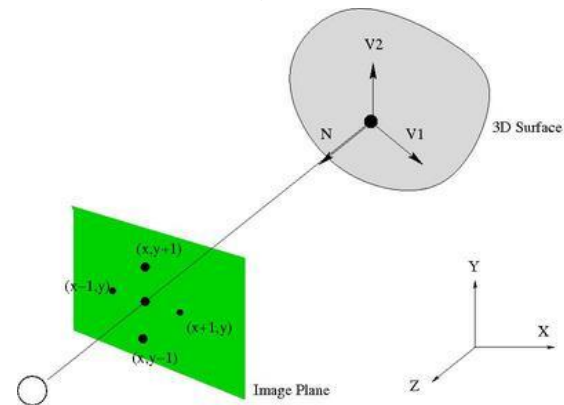
$$[G] = k_d [N] \quad (10)$$

maka untuk $n > 3$, kita dapat menyelesaikan persamaan (10) sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

$$N = \frac{G}{k_d} \quad (11)$$

Dengan adanya persamaan (11) ini, kita dapat menghitung normal sekaligus albedo dari setiap pixel wajah yang akan dipindai dengan lebih mudah. Namun, tanpa asumsi model permukaan Lambertian, di mana ada pixel dari wajah yang memantulkan cahaya dalam intensitas yang sangat rendah, kita cukup mengabaikannya untuk mempermudah perhitungan [6]. Perhitungan ini sangat disarankan menggunakan matriks, karena jumlah n yang dihitung lebih dari 3.

C. Proses Perhitungan Kedalaman



Gambar 2 Ilustrasi Proses Perhitungan Kedalaman (sumber :

http://pages.cs.wisc.edu/~csverma/CS766_09/Stereo/stereo.html)

Berdasarkan gambar 2 di atas, kita dapat membuat sebuah persamaan dan menyelesaikannya dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_1 &= (x + 1, y, z_{x+1,y} - (x, y, z_{x,y})) \\ &= (1, 0, z_{x+1,y} - z_{x,y}) \end{aligned} \quad (12)$$

Karena N adalah vektor normal dari bidang dan tegak lurus dengan V_1 , maka :

$$N \cdot V_1 = 0 \quad (13)$$

Jika kita substitusikan V_1 pada persamaan (12) ke (13), maka kita peroleh persamaan berikut :

$$n_x + n_z(z_{x+1,y} - z_{x,y}) = 0 \quad (14)$$

Dengan cara yang serupa kita dapatkan pula untuk V_2 :

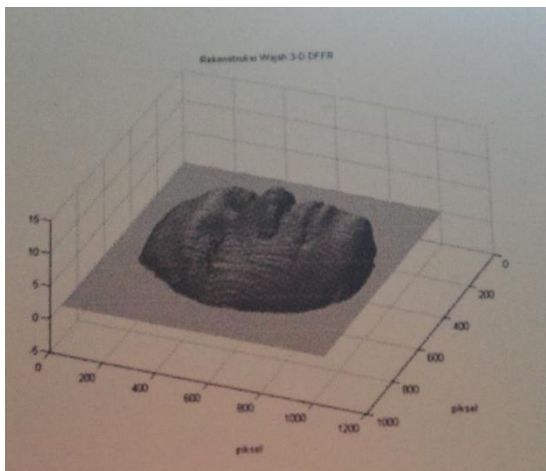
$$n_y + n_z(z_{x,y+1} - z_{x,y}) = 0 \quad (15)$$

Namun karena ada sebuah kondisi di mana n_x , n_y , atau n_z

tidak bernilai. Karena itu persamaan di atas dimodifikasi dengan menjadikan n_x dan n_y negatif [6].

Kedua persamaan yang baru akan menghasilkan matriks segiempat dengan orde $2 \times$ jumlah Pixel yang dihitung [6]. Dengan demikian, metode *photometric stereo* ini tidak hanya memanfaatkan vektor saja, tetapi juga matriks.

D. Hasil dari Proses Photometric Stereo



Gambar 3 Hasil dari Pemindaian Wajah dengan Teknik *Photometric Stereo*

(sumber : *3D Digital Fringe Face Reconstruction "Simon"*, salah satu karya mahasiswa Institut Teknologi Bandung, Ryan Muhammad Khawarizmi dkk., Fisika Teknik 2011)

Hasil dari teknik *photometric stereo* merupakan hasil dari dua proses yang sudah dijelaskan di upapabab sebelumnya, yaitu proses pemindaian permukaan dan proses perhitungan kedalaman. Kedua hasil ini akan berperan penting dalam menentukan hasil permukaan wajah yang dibaca.

Gambar 3 adalah salah satu contoh hasil akhir dari proses pemindaian wajah. Gambar 3 di atas merupakan hasil akhir yang merupakan kombinasi dari pemindaian permukaan menggunakan albedo merah, hijau, dan biru (RGB) dan perhitungan kedalaman. Hasil ini belum dapat dicetak dengan menggunakan teknologi *3D-printing*, karena proses kalibrasi pada alat *3D-printer* tidak mampu membaca detail wajah yang telah berhasil dipindai. Kalibrasi alat *3D-printer* memanfaatkan prinsip metode numerik dengan membagi model tiga dimensi wajah menjadi beberapa lapisan sedangkan proses pemindaian wajah lebih mendekati metode analitik (walaupun sebenarnya tetap menggunakan metode numerik, karena keterbatasan komputer). Perbedaan metode inilah yang menyebabkan hasil pemindaian wajah tiga dimensi belum dapat dicetak dengan sempurna.

V. PENGUKURAN JARAK GEODESIK

A. Pengertian

Jarak geodesik adalah jarak terdekat dari suatu titik ke titik lainnya. Untuk kasus dalam makalah ini, jarak geodesik wajah manusia adalah ujung hidung. Salah satu

algoritma yang dapat mengukur jarak geodesik pada proses pemindaian wajah adalah *fast marching on triangulated domains* (FMTD) [8].

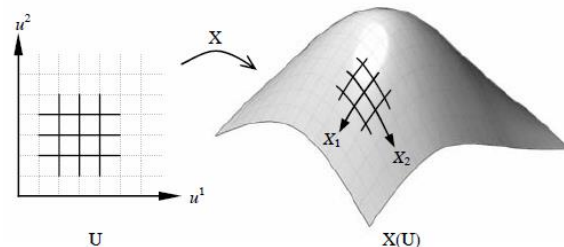
Algoritma FMTD ini memiliki banyak sekali modifikasi. Salah satu modifikasi diusulkan oleh Bronstein, Kimmel, dan Spira [3]. Modifikasi dari algoritma ini memanfaatkan transformasi lanjar dalam perhitungannya. Transformasi lanjar digunakan untuk mengubah gambar wajah yang semula dua dimensi menjadi tiga dimensi.

B. Transformasi Lanjar Gambar Dua Dimensi

Transformasi lanjar digunakan sebagai representasi awal pada proses perhitungan jarak geodesik wajah manusia. Wajah manusia dapat direpresentasikan dengan transformasi $X : \mathbf{R}^2 \rightarrow \mathbf{R}^3$ [3]. Artinya adalah, wajah manusia dianggap sebagai sebuah bidang datar ketika dibaca, kemudian dalam prosesnya akan dilakukan transformasi ini untuk menghasilkan bentuk wajah manusia sesuai aslinya.

Misalkan ada sebuah bidang U yang merupakan representasi wajah manusia, maka kita bisa merepresentasikan $X(U)$ sebagai berikut :

$$X(U) = (x, y, z(x, y)) \tag{16}$$



Gambar 4 Transformasi Lanjar $X : \mathbf{R}^2 \rightarrow \mathbf{R}^3$ untuk Bidang U

(sumber : [3])

Pada gambar 4 di atas, kita bisa melihat adanya transformasi lanjar yang menyebabkan gambar dua dimensi menjadi gambar tiga dimensi. Dalam makalah ini, tidak dibahas mengenai proses dari transformasi tersebut, karena setiap wajah manusia memiliki fitur yang berbeda-beda, sehingga menyebabkan transformasi lanjar wajah setiap orang memiliki cara yang berbeda-beda.

C. Proses Perhitungan Jarak Geodesik

Setelah ditemukan pemodelan 3 dimensi seperti gambar 4 di atas, dilakukan pembagian bidang-bidang dengan sejumlah segitiga, sesuai dengan algoritma FMTD yang berguna untuk persiapan pengukuran jarak geodesik. Apabila segitiga-segitiga yang dibentuk merupakan segitiga tumpul, maka dapat terjadi kegagalan dalam proses perhitungan, karena itu diperlukan sebuah pemrosesan awal untuk menghindari kesalahan-kesalahan yang akan terjadi [3].

Pemrosesan awal tersebut tidak lain adalah proses untuk memisahkan segitiga tumpul menjadi beberapa segitiga yang tidak tumpul. Untuk menyatakan perlu

tidaknya sebuah segitiga, yang tentunya tidak diketahui jenisnya, digunakan rumus kosinus sebagai berikut [3] :

$$\cos \alpha = \left(\frac{(X_1 \cdot X_2)}{||X_1|| ||X_2||} \right) \quad (17)$$

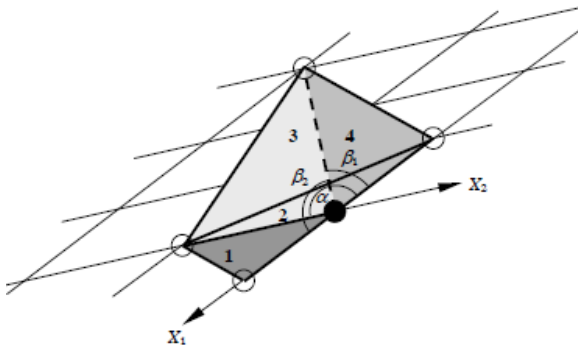
Jika diamati lagi, rumus kosinus yang dipakai pada persamaan (17) adalah hasil penyelesaian dari rumus dot vektor. Dot vektor juga merupakan salah satu topik dalam aljabar vektor. Jadi, dalam metode perhitungan jarak geodesik pun menggunakan prinsip aljabar vektor.

Jika dalam prosesnya $\cos \alpha \geq 0$, berarti tidak diperlukan proses pemisahan segitiga tumpul, karena tidak ada segitiga tumpul yang dihasilkan dari kedua transformasi [3]. Namun jika terjadi nilai $\cos \alpha < 0$, maka harus dilakukan pemisahan segitiga dengan syarat :

$$\cos \beta_1 = \left(\frac{X_1 \cdot (mX_1 + nX_2)}{||X_1|| ||mX_1 + nX_2||} \right) > 0 \quad (18)$$

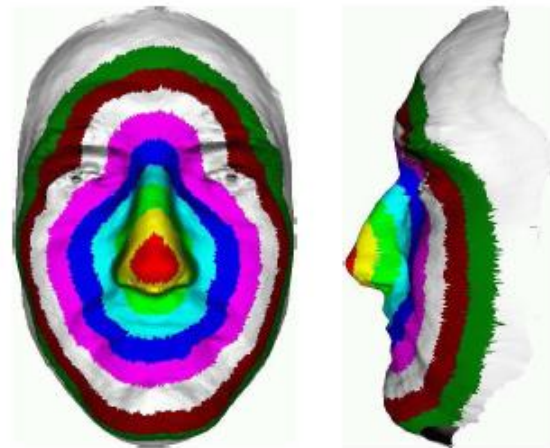
dan

$$\cos \beta_2 = \left(\frac{X_2 \cdot (mX_1 + nX_2)}{||X_2|| ||mX_1 + nX_2||} \right) > 0 \quad (19)$$



Gambar 5 Pemrosesan Awal Segitiga Tumpul (Segitiga 2).
(sumber : [3])

Gambar 5 di atas menjelaskan proses awal perhitungan jarak geodesik dari suatu gambar wajah. Dengan adanya segitiga-segitiga ini, proses FMTD bisa dilanjutkan. Setelah proses FMTD ini berjalan, maka akan ada suatu titik proses di mana gambar wajah manusia yang dipindai ditandai dengan warna-warna yang konsentris, dengan pusat warnanya terdapat pada hidung (lihat gambar 5).



Gambar 6 Penandaan Gambar Wajah Manusia dengan Hidung sebagai “Pusat” (Jarak Geodesik)
(sumber : <http://www.dsi.unifi.it/~pala/index.php/Main/Projects>)

Garis-garis konsentris yang mengelilingi bagian hidung pada gambar 6 disebut juga garis iso-geodesik [9]. Prinsip kerja dari garis-garis ini adalah mengukur dan menemukan adanya fitur-fitur wajah serta kontur wajah. Garis-garis iso-geodesik ini nantinya akan disusun satu per satu sehingga bisa membentuk wajah manusia yang dipindai dalam bentuk tiga dimensi.

VI. KESIMPULAN

Ada banyak sekali metode pemindaian wajah yang sudah diciptakan manusia, namun semuanya menggunakan dua teknik utama, yaitu *photometric stereo* dan pengukuran jarak geodesik. Sesuai dengan namanya, teknik *photometric stereo* memanfaatkan pantulan cahaya (albedo) dari wajah. Selain albedo, pemindaian wajah dengan teknik ini juga memanfaatkan aljabar vektor sebagai salah satu komponen proses perhitungan dan pemodelan tiga dimensi wajah yang dipindai. Pada teknik pengukuran jarak geodesik wajah, digunakan prinsip transformasi linier dan dot vektor, yang juga merupakan salah satu bahasan dalam aljabar vektor.

REFERENSI

- [1] Marques, Ion. 2010. “*Face Recognition Algorithm*”. *Universidad del Pais Vasco*.
- [2] W. Zhao, R. Chellappa, A. Rosenfeld, dan P. Phillips. 2003. *Face recognition: A literature survey*, halaman 399–458. *ACM Computing Surveys*.
- [3] M. Bronstein, Alexander, Michael M. Bronstein, Ron Kimmel, dan Alon Spira. 2003. *3D Face Recognition without Facial Surface Reconstruction*.
- [4] S.S.Mohamed, Aamer, Ying Weng, Stan S Ipson, Jianmin Jiang. *Face Detection based on Skin Color in Image Neural Networks*.
- [5] Inseong Kim, Joon Hyung Shim, dan Jinkyu Yang. *Face Detection*.

- [6] Verma, Chaman Singh, Mon-Ju Wu. *Photometric Stereo*. Diakses dari http://pages.cs.wisc.edu/~csverma/CS766_09/Stereo/stereo.html pada 1 Desember 2015 pukul 21.31
- [7] Ramanan, Deva. 2009. *Lecture 4 – April 13 : Light and Geometry in Vision*.
- [8] A. Elad, R. Kimmel. 2001. *Bending invariant representations for surfaces*, halaman 168-174. *Proc. CVPR*.
- [9] <http://www.dsi.unifi.it/~pala/index.php/Main/Projects> diakses pada 3 Desember 2015 pukul 22.43
- [10] T. K. Leung, M. C. Burl, and P. Perona. 1995. "Finding faces in cluttered scenes using random labeled graph matching" halaman 637-644. *Proc. 5th IEEE int'l Conf. Computer Vision*.
- [11] Anton, Howard, Chris Rorres. 2010. *Elementary Linear Algebra : Application Version*.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 5 Desember 2015

ttd



Martino Christanto Khuangga - 13514084