

Aplikasi Aljabar Geometri pada Video 360

Naufal Malik Rabbani - 13514052
Program Studi Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
13514052@std.stei.itb.ac.id

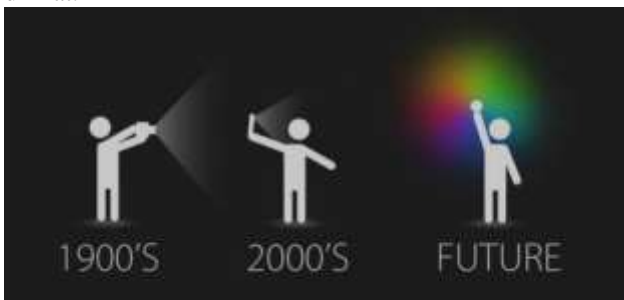
Abstrak—Melalui teknologi video 360 derajat, para pengguna Youtube dapat melihat keseluruhan bagian dari video yang diputar di Youtube. Bila biasanya kita hanya melihat jangkauan video yang direkam oleh kamera, namun video 360 derajat memungkinkan kita untuk berinteraksi dengan bagian samping, atas, bawah, atau belakang dari video tersebut. Pengalaman menonton video 360 derajat terasa lebih nyata dan seperti aslinya. Di balik teknologi video 360, adalah sebuah dasar Aljabar Geometri untuk memproses penyatuan gambar-gambar yang menjadikannya sebuah gambar berbentuk kulit bola, dan juga merupakan gambar yang berubah terhadap waktu tentunya.

Kata kunci—Youtube, video 360, *image stitching*, gambar panorama.

I. PENDAHULUAN

Kabar mengenai teknologi video 360 derajat dari Youtube sudah mulai terdengar sejak Januari 2015. Namun akhirnya pada Maret 2015 barulah Google merilis berita mengenai teknologi anyar tersebut. Untuk mendukung teknologi video 360 derajat, Google yang memprakarsai fitur baru tersebut untuk Youtube versi Android mengadakan pertemuan dengan sejumlah perusahaan teknologi besar yang bergerak di bidang kamera film 360 derajat.

Untuk melihat gambar/video berbasis 360 derajat, pada ponsel pintar dapat memanfaatkan sensor geometrik yang telah dibenamkan pada ponsel tersebut. Sedangkan perangkat yang tidak mendukung sensor geometrik seperti komputer ataupun laptop, dapat melihat gambar/video 360 derajat dengan cara menggeser tetikus ke arah yang ingin dilihat.



Gambar 1.1 Perkembangan teknologi kamera

Peluncuran fitur video 360 derajat ini diperkirakan akan membuka peluang bagi pasar kamera 360 derajat yang

akan mulai diperkenalkan secara umum pada tahun 2015 ini. Sehingga industri kamera 360 derajat akan menggeliat menjadi teknologi baru yang digandrungi oleh masyarakat modern.

Sekarang kita bisa menikmati video tersebut dalam aplikasi Google Street View. Melalui Google Street View, Google menampilkan panorama tempat-tempat indah di dunia yang bisa dinikmati dari penjuru dunia manapun.

Selain Google Street View, ponsel pintar keluaran baru-baru ini juga mendukung untuk pengambilan gambar panorama ataupun gambar 360 derajat. Hal ini lebih mudah ketimbang dengan membeli banyak kamera, dan menggabungkan gambar-gambar antar kamera tersebut.

Penggabungan gambar-gambar ini didasarkan oleh teori-teori dan rumus-rumus yang diajarkan pada Aljabar Geometri, dan juga tambahan algoritma untuk menjadikan gambar-gambar kecil yang berkoresponden menjadi gambar utuh dengan resolusi tinggi.



Gambar 1.2 Panorama pada sebuah gedung

Sebelum membahas tentang video 360 (gambar berbentuk kulit bola yang berubah terhadap waktu), akan dibahas tentang gambar 360 (gambar berbentuk kulit bola), gambar panorama (gambar berbentuk persegi panjang yang melingkar), dan juga proses *stitching* (algoritma penyatuan beberapa gambar) yang menggunakan konsep-konsep pada Aljabar Geometri.

II. TEORI DASAR

A. Sistem Persamaan Lanjar

Secara intuitif, persamaan lanjar adalah persamaan dimana peubahnya tidak memuat eksponensial, trigonometri (sin, cos, tan, dll), perkalian, pembagian dengan peubah lain, atau pembagian dengan dirinya sendiri. Jadi, sistem persamaan lanjar merupakan sekumpulan persamaan lanjar yang memuat sejumlah

hingga peubah bebas yang saling terkait.

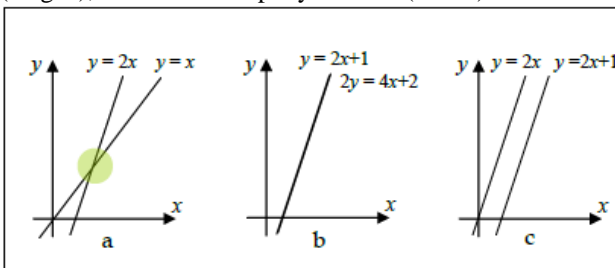
$$\begin{aligned} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 + \dots + a_{1n} x_n &= b_1 \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 + \dots + a_{2n} x_n &= b_2 \\ \vdots & \\ a_{m1} x_1 + a_{m2} x_2 + \dots + a_{mn} x_n &= b_m \end{aligned}$$

Gambar 2.1 Sistem Persamaan Linjar

Pada gambar 2.1 terlihat sebuah contoh sistem persamaan linjar, dimana $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{in}$ merupakan bagian dari koefisien bilangan real. x_1, x_2, \dots, x_n merupakan bagian dari peubah. b_1, b_2, \dots, b_m merupakan bagian dari konstanta bilangan real.

B. Solusi SPL dengan OBE

Suatu sistem persamaan linjar mempunyai 3 kemungkinan solusi yang digambarkan pada gambar 1.2, yaitu solusi tunggal (kiri), solusi tak hingga banyak (tengah), dan tidak mempunyai solusi (kanan).



Gambar 2.2 Solusi sistem persamaan linjar

Menentukan solusi persamaan linear dapat dilakukan dengan menggunakan Operasi Baris Elementer (OBE). Langkah yang pertama adalah tulis kembali sistem persamaan linjar dalam bentuk matriks yang diperjelas (*augmented matrix*). Selanjutnya dilakukan OBE pada matriks tersebut untuk menentukan solusinya.

Perhatikan matriks koefisien (sebelah kiri) setelah OBE, jika terdapat baris nol dan matriks konstanta (sebelah kanan) adalah bilangan tidak nol, maka SPL tidak mempunyai solusi. Kemudian jika SPL mempunyai solusi, perhatikan jika setiap kolom mempunyai satu utama, solusi SPL adalah tak hingga banyak. Jika tidak, maka solusi SPL adalah tunggal.

C. Solusi SPL dengan Cramer

Selain menggunakan OBE, solusi SPL dapat ditentukan dengan menggunakan aturan Cramer dan matriks kebalikan (*invers*). Syarat agar suatu SPL dapat diselesaikan dengan menggunakan aturan Cramer atau matriks invers adalah matriks koefisien dari SPL tersebut harus bujursangkar (persegi) dan determinannya tidak sama dengan nol. Aturan Cramer merupakan suatu cara untuk menentukan solusi SPL secara terpartisi (misal x_i , yaitu peubah ke- i).

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \end{pmatrix}$$

Gambar 2.3 SPL dalam bentuk matriks

Jika determinan pada SPL gambar 2.3 tidak sama dengan nol, maka dalam menentukan solusi peubah x_i , langkah-langkah dapat dilakukan menggunakan aturan Cramer.

Hal yang perlu diingat bahwa suatu matriks bujur sangkar A mempunyai invers jika dan hanya jika $\det(A)$ tidak sama dengan 0. Dengan demikian, dengan memeriksa determinan dari matriks koefisiennya (bujur sangkar tentunya), kita dapat menentukan apakah solusi SPL tersebut tunggal atau tidak. Jika $\det(A)$ tidak sama dengan 0, maka solusi SPL adalah tunggal, dan dalam menentukan solusinya dapat menggunakan aturan Cramer atau invers matriks.

D. Sistem Persamaan Linjar Homogen

Sistem persamaan linjar homogen merupakan sistem persamaan linjar yang semua konstantanya adalah nol. SPL homogen merupakan SPL yang konsisten, yaitu selalu mempunyai solusi.

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &= 0 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &= 0 \\ \vdots & \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n &= 0 \end{aligned}$$

Gambar 2.4 SPL homogen

Solusi SPL homogen dikatakan tunggal jika solusi itu adalah $\{x_1=x_2=\dots=x_n=0\}$. Jika tidak demikian, artinya SPL homogen mempunyai solusi tak hingga banyak, biasanya ditulis dalam bentuk parameter.

III. GAMBAR PANORAMA

A. *Stitching* Gambar

Image stitching adalah proses penggabungan beberapa gambar (foto) dengan cara menumpangtindihkan foto-foto tersebut untuk menghasilkan gambar panorama yang tersegmentasi dan juga memiliki resolusi tinggi. Algoritma ini pada umumnya dilakukan oleh komputer karena jika manual *editing* oleh manusia membutuhkan waktu dan tenaga yang besar. Sebagian besar algoritma-algoritma *image stitching* membutuhkan ketepatan titik-titik dari gambar untuk menghasilkan sebuah gambar panorama yang mulus.

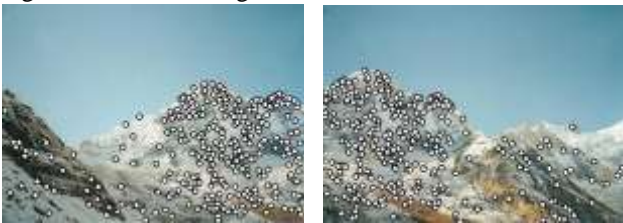
Perlu kita ketahui sebelumnya bahwa penyatuan gambar adalah suatu hal yang cukup kompleks dan juga rumit, disebabkan adanya gangguan seperti pencahayaan, latar depan atau latar belakang yang selalu sama, paralaks, gangguan lensa, adanya pergerakan, dan perbedaan eksposur yang cukup mendalam.

Idealnya, gambar akan di tumpang tindihkan sekitar 15-30% luas gambar, untuk menangani berbagai gangguan yang telah disebutkan sebelumnya. Kumpulan gambar juga harus memiliki eksposur yang konsisten untuk meminimalkan banyaknya tumpang tindih yang dilakukan. Rasio lebar dan tinggi juga turut diperhitungkan kalau ingin mendapatkan hasil penyatuan gambar yang bagus.



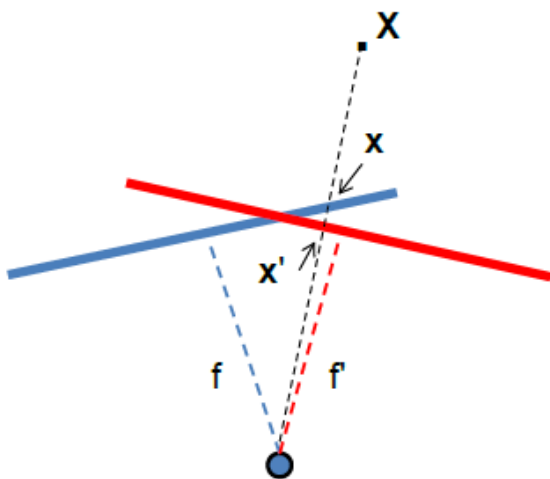
Gambar 3.1 Hasil penyatuan 2 buah gambar

Untuk memulai penyatuan gambar, pertama algoritma harus mampu menentukan model matematika yang sesuai yang berkaitan dengan koordinat (piksel) dalam suatu gambar. Data-data yang diambil berasal dari titik kesamaan antar-gambar yang ingin disatukan. Untuk itu, diperlukan beberapa kemungkinan titik kesamaan yang unik seperti pada bagian sudut, gumpalan, ataupun perbedaan Gaussian pada sudut tertentu. Algoritma untuk mendapatkan data-data kesamaan pada gambar antara lain algoritma SIFT dan algoritma SURF.



Gambar 3.2 dan 3.3 Merupakan 2 buah gambar dengan titik-titik sebagai kandidat data yang ingin dicocokkan

Untuk pencocokan data dan memodelkan matematika yang sesuai, dapat menggunakan konsep-konsep aljabar geometri seperti Sistem Persamaan Lanjar dan Matriks. Ada juga algoritma RANSAC (*Random Sample Consensus*) yang membantu mencocokkan secara kasar terhadap gambar yang ingin disatukan.



Gambar 3.4 Model Aljabar Geometri

$$x = K [R \ t] X$$

$$x' = K' [R' \ t'] X'$$

$$t = t' = 0$$

$$x' = Hx, \text{ dimana } H = K' R' R^{-1} K^{-1}$$

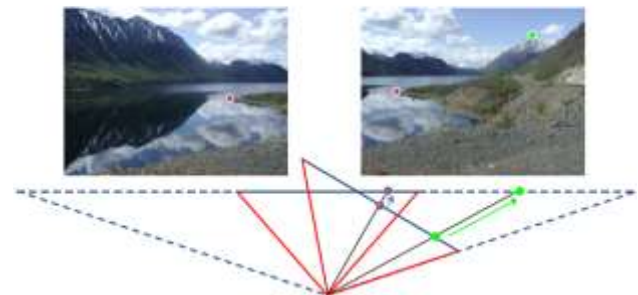
Hanya R dan f yang akan berubah (dengan 4 parameter), tetapi pada umumnya H mempunyai 8

parameter.

$$x' = Hx \quad x' = \begin{bmatrix} w'u' \\ w'v' \\ w' \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix}$$

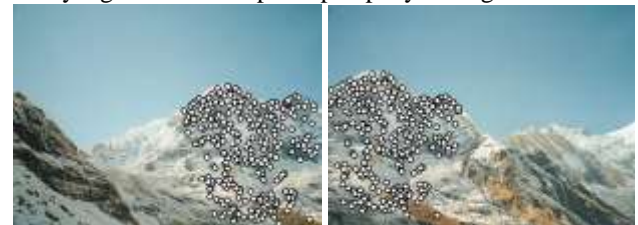
$$\begin{bmatrix} -u & -v & -1 & 0 & 0 & 0 & uu' & uv' & u' \\ 0 & 0 & 0 & -u & -v & -1 & uv' & vv' & v' \end{bmatrix} h = 0$$

Gambar 3.5 Sistem Persamaan Linear Views from rotating camera



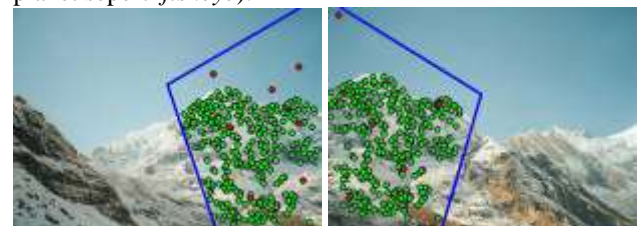
Gambar 3.6 Satu buah titik kesamaan

Setelah menemukan titik-titik yang memungkinkan kecocokan, dan juga telah menggunakan konsep dasar Aljabar Geometri untuk menemukan titik yang sama, langkah selanjutnya adalah memperkirakan kandidat titik-titik yang cocok untuk persiapan penyatuan gambar.



Gambar 3.7 dan 3.8 Merupakan 2 buah gambar yang telah ditemukan titik-titik kesamaan

Langkah selanjutnya adalah *blending*, yaitu tahap untuk menentukan apa yang akan dihasilkan setelah gambar-gambar tersebut disatukan. Ada beberapa contoh, seperti bujursangkar, silinder, kulit bola, panini (peta dari sebuah bola), ataupun stereografik (membentuk sedikit efek planet seperti *fish-eye*).



Gambar 3.9 dan 3.10 Merupakan 2 buah gambar yang siap disatukan, hasilnya adalah gambar 3.1

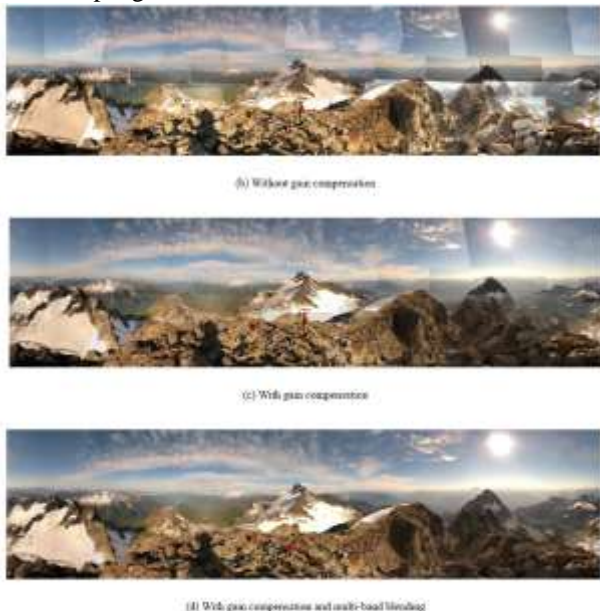
B. Tahap Setelah *Stitching*

Setelah proses *stitching* selesai, terbentuklah gambar dengan resolusi tinggi hasil panyatuan gambar-gambar

yang terpisah pada awalnya. Tetapi kemungkinan besar hasil dari penyatuan tersebut belum mendapat hasil yang mulus, seperti adanya perbedaan jelas pada garis tumpang tindih, warna yang kontras, ataupun gambar yang tergeser atau pecah.

Ada beberapa algoritma unik untuk mempermulus hasil dari sebuah penyatuan gambar-gambar. Diantaranya adalah *gain compensation*, dan *multi-band blending*. Kedua algoritma ini tidak akan dibahas secara mendetail karena berkaitan dengan grafis, dan tidak berkaitan dengan Aljabar Geometri.

Pada intinya, algoritma *gain compensation* berguna untuk meminimalisir kontras yang terjadi pada garis-garis tumpang tindih. Lalu algoritma *multi-band blending* berguna untuk menyamarkan garis-garis pada gambar hasil tumpang tindih.



Gambar 3.11 Hasil penyatuan gambar

Terlihat pada gambar 3.11, gambar yang atas merupakan gambar murni setelah tahap penyatuan. Sedangkan gambar yang tengah merupakan gambar yang telah ditambahkan dengan algoritma *gain compensation*. Gambar yang bawah merupakan gambar dengan tambahan algoritma *gain compensation* dan algoritma *multi-band blending*.

C. Aplikasi Penyatuan Gambar Otomatis

Meskipun proses membuat gambar panorama terlihat rumit bagi manusia, namun itu semua dapat diproses oleh komputer dengan cepat. Contohnya adalah, aplikasi kamera pada ponsel pintar keluaran terbaru telah mendukung kameranya untuk membuat gambar 360. Kita cukup berdiri pada satu titik, dan melakukan jepretan-jepretan foto dalam arah tertentu, vertikal, horizontal, ataupun vertikal dan horizontal untuk membuat gambar 360 berbentuk kulit bola.

Selain itu, juga terdapat aplikasi-aplikasi untuk penyatuan gambar seperti Autostitch, SharpStitch, Kolor Autopano, Hugin, dan CleVR Stitcher. Bahkan pada

Photoshop sudah terdapat *Photomerge* dan *Auto-Blend* yang mampu memproses penyatuan gambar-gambar seperti pada proses yang telah dijelaskan sebelumnya.

IV. VIDEO 360

A. Perangkat Keras Video 360

Teknologi Video 360 sedikit berbeda dengan penyatuan gambar sederhana yang telah kita bahas sebelumnya. Hal itu dikarenakan video 360 adalah gambar 360 yang berubah terhadap waktu.

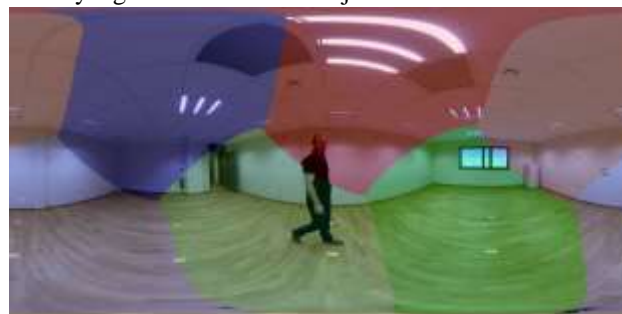
Sangat tidak mangkus jika kita menggunakan algoritma-algoritma penyatuan gambar untuk setiap gambar pada video. Jikalau dibutuhkan waktu 5 detik untuk menyelesaikan penyatuan gambar 360, maka untuk 1 detik video dengan kualitas 30 gambar per detik (30 *Frame Per Second*), membutuhkan waktu 2,5 menit, itupun belum terhitung dengan penggabungan (*rendering*) gambar kembali menjadi video.

Untuk mempermudah, dibuatlah suatu perangkat yang dapat dengan cepat menghasilkan video 360. Tetap saja, perangkat ini juga membutuhkan kalibrasi menggunakan algoritma-algoritma penyatuan gambar pada awalnya, dan perangkat ini mampu menyimpan konfigurasinya untuk membentuk video 360 dengan cepat.



Gambar 4.1 Perangkat pembuatan video 360

Pada gambar 4.1 terdapat beberapa tipe perangkat untuk membuat video 360 dengan cepat. Pada dasarnya adalah, perangkat-perangkat tersebut memiliki beberapa kamera yang sudah terpasang pada sudut dan arah yang tetep. Selain itu, perangkat tersebut juga telah menyimpan konfigurasi apa-apa yang dibutuhkan untuk melakukan penyatuan gambar (titik kecocokannya). Sehingga pada nantinya hanya perlu *rendering* terhadap video yang akan disatukan menjadi sebuah video 360.



Gambar 4.2 Hasil rendering dari perangkat

Gambar 4.2 merupakan satu buah gambar dari sebuah video yang digabungkan dari sebuah perangkat pembuat video 360. Terlihat terdapat 6 warna berbeda yaitu biru, merah, coklat, kuning, hijau, dan putih. Masing-masing warna merepresentasikan 1 kamera sebelum dilakukannya

penggabungan gambar.

Perangkat yang terdapat pada gambar 4.2 merupakan perangkat berbentuk kubus dan tertanam sebuah kamera pada setiap bidanganya. Perangkat ini ditaruh diatas kaki tiga (*tripod*) ditengah-tengah sebuah ruangan persegi empat.

B. Perangkat Lunak Video 360

Meskipun terdapat perangkat keras yang memudahkan kita untuk membuat video 360, terdapat juga sebuah perangkat lunak untuk membuat video 360.

Salah satu contohnya adalah VideoStitch, perangkat lunak ini menggunakan konsep mirip seperti yang telah kita bahas sebelumnya. Tiap video dari kamera akan menjadi input, lalu perangkat lunak ini akan menggunakan algoritma-algoritma penyatuan gambar. Setelah melakukan beberapa kali pengambilan data, dibentuklah sebuah konfigurasi untuk gambar-gambar selanjutnya, dengan asumsi video yang menjadi input merupakan video ideal untuk merekam 360, yaitu posisinya tidak bergeser seperti menggunakan perangkat keras pembuat video 360).

V. KESIMPULAN

Pembuatan video 360 merupakan pengembangan dari pembuatan gambar 360. Pembuatan gambar 360 merupakan gambar beresolusi tinggi yang terbentuk dari gambar-gambar beresolusi rendah, yang disatukan dengan berbagai algoritma yang ada. Algoritma-algoritma penyatuan gambar (*stitching*) merupakan salah satu dari aplikasi Aljabar Geometri, yaitu Sistem Persamaan Linjar, Aljabar Vektor, dan juga Aljabar Geometri. Untuk menghasilkan gambar/video 360 yang berkualitas mulus, diperlukan algoritma-algoritma lain yang berdasar pada desain grafis. Karena melakukan *stitching* saja tidak cukup bagus, bisa terdapat berbagai gangguan pada produk seperti terlihat jelas garis tumpang tindih gambar, ataupun kontras di area tumpang tindih gambar.

VI. UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillahirabbil ‘alamiin, rasa syukur saya curahkan kepada Allah SWT atas berkah dan rahmah-Nya. Ucapan terima kasih saya sampaikan tertuju kepada Bapak Rinaldi Munir dan Bapak Judhi Santosi selaku dosen IF2123 Aljabar Geometri yang telah membimbing, mendidik, dan meluapkan ilmunya kepada saya sebagai mahasiswanya, sehingga terbentuklah dasar-dasar ilmu pengetahuan dalam pembuatan makalah ini. Ucapan terima kasih juga saya sampaikan tertuju kepada keluarga saya, dan juga teman-teman saya yang tidak henti memberikan dorongan untuk menimba ilmu.

REFERENSI

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Image_stitching diakses pada 15 Desember 2015 pukul 9:38

- [2] <https://cs.brown.edu/courses/csci1950-g/results/proj6/edwallac/> diakses pada 15 Desember 2015 pukul 10:22
- [3] <https://xplor.xl.co.id/t5/Digital-Life/Inilah-Cara-Membuat-Video-360/td-p/12850> diakses pada 15 Desember 2015 pukul 10:01
- [4] <https://www.maxmanroe.com/video-360-derajat-teknologi-terbaru-format-video-youtube.html> diakses pada 15 Desember 2015 pukul 9:52
- [5] <https://www.google.com/maps/streetview/> Google Street View, diakses pada 13:44
- [6] <https://www.youtube.com/channel/UCzuqhs6NWbgTzMuM09WKDQ> Youtube Channel : #360Video, diakses pada 13:58
- [7] Diktat Bab 3 – Sistem Persamaan Linear
- [8] *E-book*, “Image Stitching, Computational Photography”, Derek Hoiem, University of Illinois
- [9] *E-book*, “Image Alignment and Stitching, A Tutorial”, Richard Szeliski, Microsoft Research
- [10] *E-book*, “Geometric Algebra for Computer Graphics”, John Vince, Springer

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, 16 Desember 2015



Naufal Malik Rabbani - 13514052