

Implementasi Efek Caustic Pada Objek Transparan Dengan Menggunakan Ray Tracing

Edward Primanata Yoewono¹, Liliana², Rolly Intan³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra

Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236

Telp (031) – 2983455, Fax. (031) - 8417658

edwardyoewono@gmail.com¹, lillian@petra.ac.id², rintan@petra.ac.id³

ABSTRAK: *Rendering* adalah proses akhir dari keseluruhan proses pemodelan ataupun animasi komputer untuk mengubah benda berupa tiga dimensi menjadi dua dimensi. Salah satu metode *rendering* yang populer sekarang ini adalah *ray tracing*. *Ray tracing* adalah teknik untuk menghasilkan gambar dengan menelusuri jalan cahaya melalui *pixel* dalam *image*.

Metode *ray tracing* mampu menghasilkan gambar yang realistis karena memperhitungkan efek – efek pencahayaan seperti *ambient*, *diffuse* dan *specular*. Pemantulan dan pembiasan cahaya juga dihitung dalam *ray tracing*. Selain itu metode *ray tracing* dibagi menjadi dua macam, yaitu penelusuran sinar dari mata (*backward ray tracing*) dan penelusuran sinar dari sumber cahaya (*forward ray tracing*).

Efek *caustic* dihasilkan dengan memancarkan cahaya lampu pada benda transparan. Cahaya yang dibiarkan akan berkumpul di suatu daerah sehingga daerah tersebut akan tampak terang dari sekitarnya. Pada penelitian sebelumnya, efek *caustic* diterapkan pada objek yang primitif, dimana pengecekan cahaya dilakukan satu kali tiap objek. Pada penelitian ini, objek yang digunakan adalah *mesh*. Pengecekan cahaya akan dilakukan pada setiap segitiga yang ada dalam *mesh*.

Hasil menunjukkan semakin besar indeks bias, maka efek *caustic* lebih berkumpul pada area tertentu pada benda beralas bulat, namun menyebar pada benda beralas datar dan lancip. Peningkatan pada kompleksitas *mesh* akan menambah waktu secara *linear*. Perbandingan dengan *software* lain menunjukkan perbedaan dalam bentuk efek *caustic* dan waktu *rendering*.

Kata kunci : efek *caustic*, pembiasan, *ray tracing*, transparansi.

ABSTRACT: *Rendering* is the process by the end of the whole process of modeling or computer animation to change the form of three-dimensional objects into two dimensions. One popular method of rendering known today is *ray tracing*. *Ray tracing* is a technique for generating an image by tracing the path of light through pixels in the image.

Ray tracing method is able to produce realistic images because it is calculating lighting effects such as *ambient*, *diffuse* and *specular*. Reflection and refraction of light is also calculated in *ray tracing*. In addition, *ray tracing method* is divided into two kinds, known as the tracing rays from the eye (*backward ray tracing*) and tracing rays from the light source (*forward ray tracing*).

Caustic effect produced by emitting light in a transparent object. Refracted light will gather in an area so that the area will appear brighter than the surrounding areas. In previous

studies, the effect of *caustic* applied to the primitive object, where the light checks done once per object. In this study, the object used is *mesh*. Checking the light will be performed on each triangle in the *mesh*.

Results showed the greater refractive index, the more *caustic* effect gathered in certain areas of the body bare round, but spread on a flat and taper grounded object. The increase in the complexity of the *mesh* will increase linearly time. Comparison with other software shows the difference in the form of *caustic* effects and rendering time

Keywords : *caustic*, *ray tracing*, refraction, transparency.

1. PENDAHULUAN

Rendering adalah proses akhir dari keseluruhan proses pemodelan ataupun animasi komputer. *Rendering* sudah mencakup proses *modelling*, perhitungan orthogonal, *hidden surface removal*, dan pencahayaan dengan parameter tertentu. *Rendering* banyak digunakan pada desain produk, *CT scan*, manipulasi gambar, *game programming*, desain *interior*, konstruksi bangunan, arsitektur, *simulator*, *movie*, dan *special effect movie*. *Rendering* pada bidang-bidang tersebut memiliki perbedaan, terutama pada fitur dan teknik *rendering*-nya.

Salah satu metode *rendering* yang populer sekarang ini adalah *ray tracing*. *Ray tracing* adalah teknik untuk menghasilkan gambar dengan menelusuri jalan cahaya melalui *pixel* dalam *image* dan simulasi efek dari pertemuan dengan benda-benda *virtual*. Teknik ini mampu menghasilkan tingkat *realisme visual* yang sangat tinggi, tetapi dengan biaya komputasi yang lebih besar. Hal ini membuat *ray tracing* cocok untuk aplikasi di mana gambar dapat diberikan perlahan-lahan dari waktu ke waktu, seperti pada gambar diam dan efek visual *film* dan televisi, dan kurang cocok untuk aplikasi *real-time* seperti *video game* di mana kecepatan sangat penting. *Ray tracing* mampu mensimulasikan berbagai efek optik, seperti *shading*, *shadow*, refleksi dan refraksi.

Penggunaan *ray tracing* untuk metode *rendering* obyek transparan pada program-program *free source* sebagian besar hanya menggunakan obyek-obyek *primitive*, sedangkan program komersial untuk *3D modelling* seperti *3dmax* dan *blender* sudah memiliki kualitas yang baik dalam mengolah obyek transparan, namun program komersil kebanyakan membutuhkan biaya (tidak gratis) serta harus di-*setting* terlebih dahulu untuk memunculkan efek kaustik. Salah satu *software rendering movie* *Renderman*, telah menghasilkan gambar dengan kualitas dan realistis yang tinggi, namun juga membutuhkan biaya mahal untuk mengoperasikannya. Hal yang sama juga terjadi pada *software rendering* arsitektur seperti *lumion* dan *auto-CAD*, memiliki kualitas yang baik namun memerlukan biaya. Untuk *software rendering game*, perhitungan *rendering* pastinya membutuhkan waktu penyelesaian yang cepat, sehingga proses perhitungannya

hanya sebatas atau proyeksi saja. Hal ini mengakibatkan kualitas *rendering*-nya kurang bagus.

Efek *caustic* pertama kali dikenalkan dalam penelitian berjudul *Global Illumination using Photon Maps* [4], dimana objek yang digunakan masih berupa *sphere*. Penelitian berikutnya yang berjudul “Pemodelan Pemantulan dan Pembiasan Cahaya oleh Obyek Mengkilap dan Obyek Transparan dengan Menggunakan Ray Tracing” [5] telah mengimplementasikan efek kaustik pada objek transparan, namun objek yang digunakan merupakan objek primitive. Pada tahun 2006, DeGreve (*Reflections and Refractions in Ray Tracing*) [3] menjabarkan mengenai rumus refraksi yang digunakan dalam *ray tracing* benda transparan. Selanjutnya penelitian *ray tracing* dilakukan pada objek *mesh* berjudul *Ray Tracing and Photon Mapping* [11], namun yang jumlah *photon* yang dipetakan hanya terbatas sampai sejumlah seribu. Perhitungan efek kaustik juga telah dilakukan pada lingkungan bawah air dalam penelitian berjudul *Caustics, Light Shafts, and God Rays* [8]. Dengan dasar ini, dibuatlah program *rendering* yang *free source* dan berfokus pada obyek transparan. Program ini menggunakan perhitungan *ray tracing* yang memperhitungkan cahaya *backward* dan *forward*.

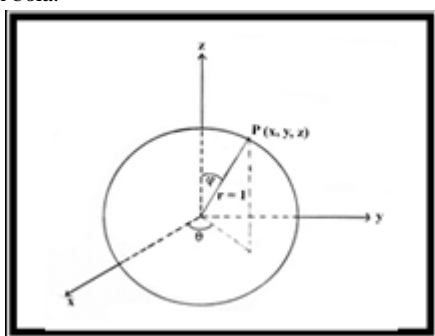
2. TINJAUAN PUSTAKA.

2.1. Ray Tracing

Ray tracing adalah suatu metode untuk memproduksi gambar yang realistik dari objek 3D [2], [7], [9]. Sebuah *ray tracer* bekerja dengan cara menghitung satu *pixel* bergiliran, dan untuk setiap *pixel* tugasnya adalah untuk menemukan objek yang terlihat dari posisi *pixel* tersebut. Setelah objek ditemukan, maka perhitungan shading, pemantulan, dan pembiasan akan dilakukan untuk menentukan warna pixel. Metode *ray tracing* dibagi menjadi dua jenis, yaitu *forward ray tracing* dan *backward ray tracing*.

2.2. Permodelan Cahaya

Sumber cahaya dimodelkan sebagai bola dengan radius satu dan posisi sumber cahaya sebagai titik pusatnya (Gambar 1) [6]. Dari titik pusat dicari arah pancaran sinar ke seluruh permukaan bola.



Gambar 1 : Permodelan Cahaya

Cara untuk mendapatkan titik pada permukaan bola:

$$P(u, v) = (r \cdot \cos(v) \cdot \cos(u), r \cdot \cos(v) \cdot \sin(u), r \cdot \sin(v)) \quad (1)$$

Dimana:

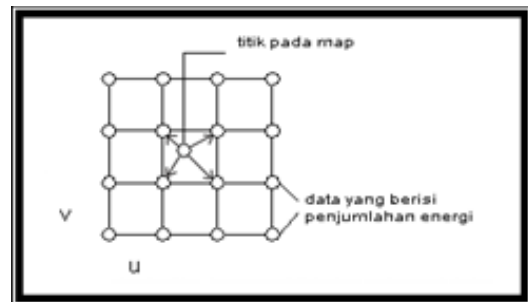
r = jari-jari bola (bernilai 1)

u = sudut searah sumbu mendatar bernilai antara 0 s/d 2π

v = sudut searah sumbu tegak bernilai antara $-\pi/2$ s/d $\pi/2$.

2.3. Pemetaan Cahaya

Pemetaan cahaya [6] menyimpan energi dari sinar dalam suatu *array* 2D. Karena obyek berupa 3D, maka diubah terlebih dahulu ke bentuk $P(u,v)$ nya. Setelah itu distribusikan intensitas tersebut ke titik – titik di sekitarnya, secara bilinear (Gambar 2).



Gambar 2 : Pemetaan Cahaya

Untuk pendistribusian ke empat titik sekitarnya, semakin dekat jarak titik jatuhnya cahaya dengan titik sekitarnya maka intensitas yang disimpan pada titik tersebut semakin besar. Demikian juga sebaliknya, semakin jauh jaraknya maka intensitas yang disimpan semakin sedikit. Peta yang menyimpan energi pada permukaan obyek disebut illumination map. Untuk mendapatkan kembali intensitas yang disimpan di suatu titik pada illumination map, terlebih dahulu dibagi dengan luas daerah yang diwakili

2.4. Mencari Waktu Tabrak Sinar Dengan Obyek

Untuk mencari titik tabrak antara sinar dengan suatu obyek maka perlu dicari terlebih dahulu waktu yang diperlukan sinar dari titik asal sampai menabrak obyek tersebut. Untuk mendapatkan waktu tabrakan [5], [10] :

$$t = \frac{d - N \cdot S}{N \cdot dir} \quad (2)$$

Dimana :

t = Waktu tabrakan.

d = Jarak bidang dengan bidang koordinat

N = Normal bidang,

S = Titik asal sinar yang menabrak

dir = Arah sinar

2.5. Pemantulan dan Pembiasan Cahaya

Reflection adalah sebuah efek yang terjadi pada objek yang mempunyai kemampuan untuk memantulkan cahaya. Efek ini akan menampilkan bayangan objek lain pada objek yang reflektif dan membutuhkan setidaknya dua objek. *Reflection* akan terlihat jika cahaya yang dipantulkan dari objek tersebut mengenai objek lain. Untuk menghitung *reflection* adalah arah mencari cahaya pantulan dengan perhitungan sebagai berikut [3].

$$r = i - 2(i \cdot n)n \quad (3)$$

Dimana :

- r = arah cahaya pantulan
- i = arah sinar datang
- n = normal bidang

Refraction / pembiasan adalah efek yang terjadi ketika cahaya melewati benda transparan yang berbeda indeks biasnya. Cahaya akan berubah arah melewati objek transparan tersebut dan dapat menabrak benda lain yang terdapat dibelakangnya. Peristiwa ini menyebabkan benda terlihat tembus pandang. Berdasarkan hukum Snellius, maka didapatkan persamaan pembiasan dalam ray tracing [3].

$$Rr = (p * n) + N * (n - 1) * c1 \quad (4)$$

$$c1 = N^p \quad (5)$$

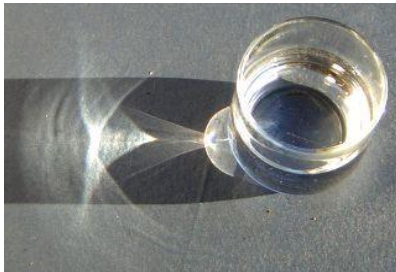
$$n = \eta1 / \eta2 \quad (6)$$

Dimana :

- Rr = arah cahaya pembiasan
- p = arah sinar datang
- N = arah normal bidang
- $\eta1$ = indeks bias material 1
- $\eta2$ = indeks bias material 2

2.6. Efek Caustic

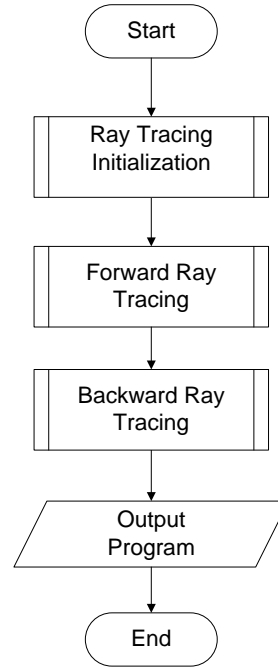
Efek kaustik (Gambar 3) dihasilkan ketika cahaya yang dipantulkan atau dibiaskan oleh permukaan *specular* objek menyentuh permukaan difus bayangan benda [1]. Hal ini menyebabkan bayangan yang dihasilkan memiliki area terang dan gelap. Contoh nyata efek kaustik dalam kehidupan sehari-hari adalah bayangan yang diciptakan oleh gelas kaca



Gambar 3 : Efek Kaustik

3. DESAIN SISTEM

Input dari aplikasi ini file konfigurasi yang berisi sudut pandang mata (FOV), lebar layar gambar (pixx), tinggi layar gambar (pixy), dan ukuran layar kamera (S), plane dan lampu. *Input* kedua adalah file objek yang berisi mesh yang akan digunakan. Setelah *input* dimasukkan, maka aplikasi akan *men-load mesh* pada layar *OpenGL*, dan melakukan *forward* serta *backward* ray tracing pada mesh tersebut. Pada *backward ray tracing*, cahaya yang ditelusuri adalah cahaya yang berasal dari mata, sedangkan pada *forward ray tracing* cahaya yang ditelusuri merupakan cahaya dari lampu. Output yang dihasilkan merupakan gambar 2 dimensi hasil ray tracing. Desain sistem dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 : Cara Kerja Sistem Secara Garis Besar

4. UJI COBA

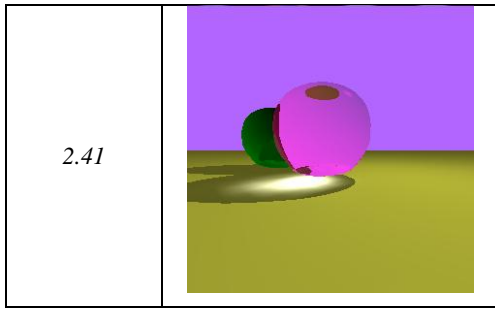
Pada bagian ini akan dibahas mengenai hasil pengujian terhadap *software* untuk mengevaluasi hasil pembiasan dan efek *caustic* dari proses ray tracing yang dilakukan.

4.1. Pengujian Indeks Bias

Pengujian indeks bias dilakukan pada 3 objek berbeda berdasarkan alasnya, yaitu : cenderung bulat, cenderung datar, dan lancip. Pemilihan indeks bias yang paling rendah adalah air (1.33), sedangkan indeks bias tinggi diwakilkan oleh permata (2.41) dan *cubic zircona* untuk nilai indeks bias sedang (1.9).

Tabel 1 : Benda Beralas Cenderung Bulat

Indeks Bias	Hasil
1.33	
1.9	



Dilihat dari hasil pengujian (Tabel 1) pada objek dengan alas bulat menunjukkan bahwa peningkatan indeks bias akan membuat efek caustic semakin berkumpul pada satu titik dan terlihat lebih putih. Penurunan indeks bias mengakibatkan efek caustic semakin menyebar dan lemah

Tabel 2 : Benda Beralas Cenderung Datar

Indeks Bias	Hasil
1.33	
1.9	
2.41	

Dilihat hasil pengujian (Tabel 2) pada objek dengan alas datar menunjukkan bahwa peningkatan indeks bias akan membuat efek caustic semakin menyebar dan membentuk lingkaran yang lebih besar. Penurunan indeks bias mengakibatkan efek caustic semakin berkumpul dan membentuk lingkaran yang kecil.

Tabel 3 : Benda Beralas Lancip

Indeks Bias	Hasil
1.33	
1.9	
2.41	

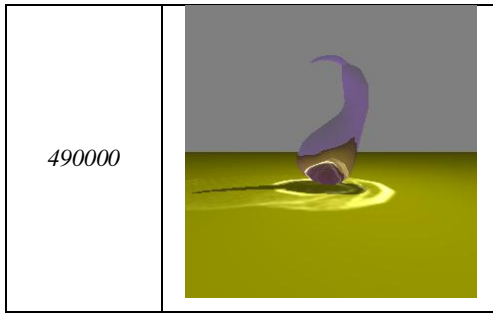
Peningkatan indeks bias pada objek dengan alas lancip (Tabel 3) akan membuat efek *caustic* semakin menyebar dan menjauhi bayangan benda. Penurunan indeks bias mengakibatkan efek *caustic* berkumpul dan mendekati bayangan benda.

4.2. Pengujian Banyaknya Sinar Lampu

Pengujian dilakukan untuk melihat efek *caustic* yang dihasilkan dengan cara merubah banyaknya jumlah sinar yang dipancarkan dari lampu.

Tabel 4 : Pengujian Banyaknya Sinar Lampu

Jumlah Sinar	Hasil
40000	



Hasil pengujian (Tabel 4) menunjukkan bahwa semakin banyak sinar yang dipancarkan oleh lampu, maka efek *caustic* akan terlihat semakin jelas. Hal sebaliknya juga berlaku, semakin sedikit sinar yang dipancarkan lampu, maka efek *caustic* kurang terlihat jelas.

4.3. Pengujian Energi Lampu

Energi lampu diibaratkan sebagai besarnya watt / tenaga sebuah lampu. Pengujian dilakukan dengan mengganti jumlah energi lampu yang dipancarkan.

Tabel 5 : Pengujian Energi Lampu

Energi Lampu	Hasil
10	
20	

Berdasarkan hasil percobaan (Tabel 5) dapat diamati bahwa perubahan nilai pada energi lampu berpengaruh pada efek *caustic*. Semakin besar energi sebuah lampu, maka efek *caustic* yang dihasilkan akan semakin jelas. Semakin kecil energi sebuah lampu, maka efek *caustic* akan semakin pudar.

4.4. Pengujian Skala Peta

Percobaan dilakukan dengan cara merubah nilai skala peta pada perangkat lunak.

Tabel 6 : Pengujian Skala Peta

Skala pada Peta	Hasil
5	
40	

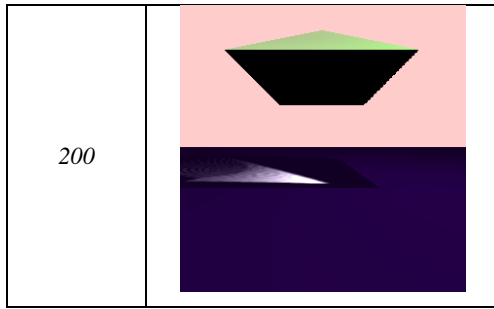
Hasil uji coba (Tabel 6) menunjukkan semakin kecil skala peta, maka energi sinar akan tampak terpusat seperti titik dan lebih putih. Jika skala peta semakin besar, maka energi akan lebih menyebar sehingga menimbulkan efek *caustic* yang terlihat lebih halus.

4.5. Pengujian Posisi Benda

Tinggi rendahnya posisi sebuah benda akan mempengaruhi hasil bayangan dari efek *caustic* yang dihasilkan, hal ini dikarenakan karena perubahan jarak lampu ke benda. Percobaan dilakukan dengan cara merubah nilai tinggi posisi benda pada perangkat lunak, pertama didepan mata pengamat, kedua di atas mata pengamat.

Tabel 7: Pengujian Skala Peta

Posisi Tinggi Benda	Hasil
0	



5. KESIMPULAN

Berdasarkan sistem yang telah dikembangkan dan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- Objek tembus pandang yang dimodelkan berhasil menampilkan objek lain dibelakangnya serta menghasilkan efek *caustic* seperti yang diharapkan.
- Indeks bias mempengaruhi efek transparansi dan *caustic* dari sebuah objek.
- Pada objek yang alasnya cenderung bulat, peningkatan pada indeks bias akan membuat efek *caustic* semakin berkumpul pada satu titik dan terlihat lebih putih. Penurunan indeks bias mengakibatkan efek *caustic* semakin menyebar dan lemah.
- Pada objek yang alasnya cenderung datar, peningkatan indeks bias akan membuat efek *caustic* semakin menyebar dan membentuk lingkaran yang lebih besar. Penurunan indeks bias mengakibatkan efek *caustic* semakin berkumpul dan membentuk lingkaran yang kecil.
- Pada objek yang alasnya lancip, peningkatan indeks bias akan membuat efek *caustic* semakin menyebar dan menjauhi bayangan benda. Penurunan indeks bias mengakibatkan efek *caustic* berkumpul dan mendekati bayangan benda.
- Semakin banyak sinar yang dipancarkan oleh lampu, maka efek *caustic* akan terlihat semakin jelas. Hal sebaliknya juga berlaku, semakin sedikit sinar yang dipancarkan lampu, maka efek *caustic* kurang terlihat jelas.
- Perubahan nilai pada energi lampu berpengaruh pada efek *caustic*. Semakin besar energi sebuah lampu, maka efek *caustic* yang dihasilkan akan semakin jelas. Semakin kecil energi sebuah lampu, maka efek *caustic* akan semakin pudar.

- Semakin kecil skala peta, maka energi sinar akan tampak terpusat seperti titik dan lebih putih. Jika skala peta semakin besar, maka energi akan lebih menyebar sehingga menimbulkan efek *caustic* yang terlihat lebih halus.
- Semakin tinggi posisi benda (menjauhi bidang datar) , maka efek *caustic* akan semakin menyebar. Semakin rendah posisi benda (mendekati bidang datar) maka efek *caustic* yang dihasilkan akan lebih terpusat.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Birn, J. 2000. *A Look At Caustics*. Retrieved Oct. 4, 2014 from: <http://www.3drender.com/light/caustics.html>
- [2] Chaudhuri, S. 2002. *What is Ray Tracing*. Retrieved Oct.5,2014 from: <http://fuzzyphoton.tripod.com/whatistr.htm>
- [3] DeGreve, B. 2006. *Reflection And Refraction In Ray Tracing*. Retrived Oct. 16, 2014 from: http://graphics.stanford.edu/courses/cs148-10-summer/docs/2006--degreve--reflection_refraction.pdf
- [4] Jensen, H. 1996. *Global Illumination using Photon Maps*. Retrieved Jan. 1, 2015 from: http://graphics.ucsd.edu/~henrik/papers/photon_map/
- [5] Laventhal, D. 2011. *Ray Tracing*. Retrieved Jan. 1, 2015 from: <https://courses.cs.washington.edu/.../ray-tracing>
- [6] Liliana. 2004. *Pemodelan Pemantulan dan Pembiasan Cahaya oleh Obyek Mengkilap dan Obyek Transparan dengan Menggunakan Ray Tracing*. Prosiding Seminar Nasional Transformasi Teknologi Untuk Peningkatan Kualitas Hidup Manusia Universitas Teknologi Yogyakarta
- [7] Pfenning, F. 2011. *Computer Graphic I*. Retrieved Oct. 5, 2014 from:<http://www.cs.cmu.edu/~fp/courses/graphics/>
- [8] Prast, S. 2013. *Caustics, Light Shafts, God Rays*. Retrieved Jan. 5, 2014 from: http://www.cg.tuwien.ac.at/research/publications/2013/Prast_Stefanie_2013-CLG/Prast_Stefanie_2013-CLG-Thesis.pdf
- [9] Rademacher, P. 2011. *Ray Tracing: Graphics for the Masses*. Retrieved Oct. 13, 2014 from:<https://www.cs.unc.edu/~rademach/xroads-RT/RTarticle.html>
- [10] Ross,B.J. 2014. *Ray Tracing Basic*. Dept. of Computer Science, Brock University
- [11] Schlinder, G. 2007. *Ray Tracing and Photon Mapping*. Retrieved Jan. 1, 2015 from: <http://www.cc.gatech.edu/~phlosoft/photon/>