

Metode Pencahayaan Menggunakan Spherical Harmonic Pada object Tiga Dimensi

¹Lulu Mawaddah Wisudawati

²Hauliza Ridhayanti

³Muhamad Subali

¹Universitas Gundarama(lulu_chester91@student.gunadarma.ac.id)

²Universitas Gundarama(rin_dha_13@student.gunadarma.ac.id)

³Universitas Gundarama

Abstract

The development of computer graphics Teknologi more rapidly cause the creation of graphics application programs that can produce realistic images, particularly images of photorealistic three-dimensional (-quality photos). To produce three-dimensional image can be done by several methods one of them is lighting technique. This technique uses Spherical Harmonics. Spherical Harmonics is a technique to compute the 3D model of local illumination light source that allows us to capture the light, giving light style back and show images in real-time global illumination. The method used is precomputed Radiance Transfer, Volume irradiance, Shadow blockers. Combining these three methods yielded good lighting in 3D games will be realistic.

Keywords : Lighting, Spherical Harmonics, global illumination, Precomputed Radiance Transfer, Irradiance Volume, Shadow Blockers, Ray Tracing.

1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi komputer grafis yang pesat menyebabkan banyak pembuatan program-program aplikasi grafis yang mampu menghasilkan gambar-gambar realistik, terutama gambar tiga dimensi yang photorealistic (sekualitas foto). 3D graphics adalah grafik yang merepresentasi objek tiga dimensi dengan menggunakan data geometrik (umumnya menggunakan kartesian) yang disimpan di dalam komputer untuk keperluan perhitungan tampilan serta rendering objek 2 Dimension. 3D graphics menggunakan representasi 3 dimensi (cartesian) dalam bentuk ruang (x,y dan z) yang ada dalam computer dalam format data tertentu untuk keperluan rendering Graphic 2D atau untuk real-time viewing dalam game [2].

3D graphics sering mengacu pada 3D Models. Hal ini dikarenakan karena adanya persamaan dalam hal graphical data file. Namun sebenarnya dua hal ini adalah dua hal yang berbeda. 3D model lebih mengacu pada representasi secara matematis dari suatu objek. Sedangkan 3D graphics lebih mengacu pada representasi objek secara visual yang mendekati realitas.

Untuk menghasilkan gambar tiga dimensi dapat dilakukan beberapa metode salah satunya adalah teknik pencahayaan. Teknik pencahayaan digu-

nakan unntuk menghasilkan objek real. Untuk mewakili berbagai macam fenomena cahaya pada objek digunakan Spherical Harmonics. Spherical Harmonic lighting (SH lighting) adalah teknik untuk menghitung pencahayaan model 3D dari daerah sumber cahaya yang memungkinkan kita untuk menangkap cahaya, memberikan cahaya kembali dan menampilkan gambar gaya global illumination secara real time [4].

Global illumination tersebut merupakan salah satu teknik pencahayaan yang mendekati realita di dunia nyata. Illumination terbagi menjadi dua jenis yaitu direct illumination dan indirect illumination. Direct illumination merupakan teknik pencahayaan yang memperhitungkan cahaya yang hanya datang dari sumber cahaya. Sedangkan indirect illumination merupakan teknik pencahayaan yang memperhitungkan cahaya yang datang dari benda lain, yaitu berupa pantulan atau refraksi cahaya. Global illumination sendiri adalah teknik pencahayaan yang memperhitungkan kedua jenis illumination tersebut [3].

Dalam permainan 3D, cara yang digunakan untuk menghandle cahaya dan bayangan merupakan salah satu perbedaan utama antara sinematik rendering dan grafik real-time. Soft shadows merupakan sesuatu yang sulit dikalkulasi secara real-time, karena salah satu metode terbaik adalah sinar

casting [10]. Untuk mengatasi masalah tersebut maka kita menggunakan spherical Harmonic dibuat dengan gabungan keempat metode dan menyesuaikan metode tersebut. Metode yang dapat digunakan adalah Precomputed Radiance Transfer [10] [6], Irradiance Volume [5] [9], Shadow Blockers [10], dan Ray Tracing [1]. Pengkombinasian keempat metode tersebut digunakan untuk scene bayangan dengan menggunakan soft shadows dan sinematik. Selain itu, keempat metode tersebut dapat menghilangkan redudansi dan memudahkan penggunaan model untuk semua tipe bayangan pada objek.

Paper ini dibagi dalam beberapa bagian. Pertama-tama kami menjelaskan mengenai latar belakang penulisan paper, bagian kedua yaitu related works yang menjelaskan mengenai pekerjaan yang terkait dengan masalah dalam paper. Lalu dalam bagian ketiga yaitu metodologi, kami akan membahas mengenai pendekatan yang digunakan dalam pencahayaan menggunakan spherical harmonic yang menggunakan keempat metode. Dan bagian 4 akan berisi kesimpulan dari paper.

2 Tinjauan Pustaka

Dalam bagian ini akan dijelaskan beberapa pekerjaan terkait yang menjelaskan tentang pencahayaan, spherical harmonics, dan metode-metode Precomputed Radiance Transfer, Irradiance Volume, Shadow Blockers, Ray Tracing.

Rui Wang, Kun Zhou, John Snyder, Xinguo Liu, Hujun Bao, Qunsheng Peng dan Baining Guo [8] dalam papernya yang berjudul "Variational sphere set approximation for solid objects". Dalam paper ini menjelaskan tentang perkiraan objek solid sebagai mesh segitiga oleh bagian ikatan dari bola memiliki jumlah minimal volume luar objek. Rui Wang menampilkan bagaimana volume luar untuk bola tunggal dapat dihitung menggunakan integrasi sederhana atas objek segitiga. Kemudian meminimalkan total volume di luar bola dalam bagian menggunakan varian dari pengelompokan Lloyd berulang yang membagi titik mesh ke sets dan batas satu sama lain dengan minimum volume luar bola. Hasilnya seperangkat bola lebih erat daripada metode sebelumnya. Rui Wang memperlihatkan percobaan dengan membandingkan terhadap alternatif state of the art (adaptif medial axis).

Zhong Ren, Rui Wang, John Snyder, Kun Zhou, Xinguo Liu, Bo Sun, Peter Pike Sloan, Hujun Bao, Qunsheng Peng, Baining Guo [11] dalam papernya yang berjudul "Real-time Soft Shadows in Dynamic Scenes using Spherical Harmonic Exponentiation" menjelaskan tentang metode untuk bayangan lunak real-time pada illumination scene di-

namik oleh besar sumber frekuensi cahaya rendah dimana integrasi tersebut tidak praktis. Metode ini beroperasi pada vektor yang mewakili visibilitas frekuensi rendah pada bloker dalam basis spherical harmonic. Pemblokiran geometri dimodelkan sebagai seperangkat bola, secara relatif beberapa bola menangkap frekuensi rendah pengaruh pemblokiran pada geometri rumit. Pada setiap titik penerima, dihitung hasil dari vektor visibilitas untuk bola penghalang seperti yang terlihat dari titik. sebagai gantinya komputasi produk mahal SH per bloker seperti pada pekerjaan sebelumnya, melakukan menjumlahkan vektor murah untuk mengumpulkan log pada visibilitas penghalang. Eksponen SH kemudian menghasilkan produk vektor visibilitas atas segala penghalang. Zhong Ren menunjukkan bagaimana Eksponen SH yang dibutuhkan dapat diperkirakan secara akurat dan efisien untuk SH low-order, mempercepat metode CPUbased sebelumnya dengan 10 faktor atau lebih, tergantung pada kompleksitas penghalang dan memungkinkan pelaksanaan GPU real-time.

M.Mousa, R.Chaine, S.Akkouche dan E.Galin [7] dalam papernya yang berjudul "Efficient Spherical Harmonics Representation of 3D Objects" menjelaskan tentang dekomposisi baru dan efisiensi spherical harmonic untuk mendefinisikan fungsi bola Triangulasi objek 3D. Fungsi bola tersebut secara intrinsik diasosiasikan dengan objek berbentuk bintang. Namun, Hasilnya dapat diperluas ke objek segitiga atau kumpulan titik orientasi permukaan setelah segmentasi kedalam permukaan berbentuk bintang dan rekonstruksi hasil dalam kerangka implisit. Jadi tidak ada pembatasan tentang jenis nomer pada objek. paper ini menunjukkan bahwa evaluasi dari koefisien spherical harmonic dapat dilakukan oleh integrasi Monte Carlo, yang membuat perhitungan lebih akurat dan lebih cepat daripada teknik yang sebelumnya, dan memberikan kontrol yang lebih baik terhadap ketepatan kesalahan dalam kontras dengan metode berbasis voxel. paper ini menunjukkan beberapa aplikasi termasuk permukaan cepat rekonstruksi dari titik awan, permukaan lokal smoothing dan transfer tekstur interaktif geometrik.

Pada ketiga paper tersebut menjelaskan teknik-teknik tentang spherical harmonic. Pada paper pertama menjeaskan bagaimana volume luar untuk bola tunggal dapat dihitung menggunakan integrasi sederhana. Sedangkan paper kedua, adalah metode untuk bayangan lunak real time pada illumination scene dinamik oleh besar sumber frekuensi cahaya rendah pada bloker dalam basis spherical harmonic. Dan untuk paper ketiga, dekomposisi efisiensi spherical harmonic untuk mendefinisikan fungsi bola Triangulasi objek 3D. paper ini menunjukkan beberapa aplikasi ter-

masuk permukaan cepat rekonstruksi dari titik awan, permukaan lokal smoothing dan transfer tekstur interaktif geometrik.

3 Metodologi

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai pendekatan pencahayaan menggunakan spherical harmonic. Spherical harmonic adalah suatu metode yang membuat suatu perkiraan jumlah cahaya yang ada pada suatu objek tertentu. SH dapat mewakili fenomena cahaya yang berada di sekitar objek. Metode Pencahayaan menggunakan Spherical Harmonic menggunakan Precomputed Radiance Transfer, Irradiance Volume, Shadow Blockers, dan Ray Tracing. Precomputed radiance transfer digunakan sebagai metode untuk merepresentasikan SH ke dalam simpul atau tekstur. Teknik ini yang mampu mensintesis gambar sangat realistis secara real time dan cara kalkulasi lighting per pixel nya memberikan hasil yang jauh lebih baik dari kalkulasi lighting konvensional yang selama ini digunakan. Lalu Ketika PRT digunakan, disini memerlukan untuk objek bayangan yang bergerak melalui objek statis yang disebut irradiance volume. Irradiance Volume sangat kompatibel dengan PRT dan memungkinkan bekerjase cara cepat, efisien, dan realistik rendering pada aplikasi real time seperti games. Metode selanjutnya yaitu shadow blockers teknik ini digunakan untuk membayangi penghalang dinamik. Terdapat beberapa langkah dalam metode ini. Pertama, harus memperkirakan penghalang dinamik dengan bola. Kemudian, mengakumulasi visibilitas untuk titik dengan menambahkan semua log blockers secara bersama-sama. Dan terakhir adalah metode ray tracing yaitu teknik rendering untuk membuat gambar tiga dimensi menjadi lebih realistik. Dengan Penggabungan Keempat metode tersebut dapat dihasilkan gambar tiga dimensi dengan pencahayaan menggunakan spherical harmonic. Selain itu proses-proses metode yang demikian menghasilkan hasil tata pencahayaan dalam game 3D akan menjadi realistis.

3.1 Precomputed Radiance Transfer (PRT)

Precomputed Radiance Transfer (PRT) adalah sebuah teknik komputer grafis baru yang mampu mensintesis gambar sangat realistis secara real time dan cara kalkulasi lighting per pixel nya memberikan hasil yang jauh lebih baik dari kalkulasi lighting konvensional yang selama ini digunakan. PRT digunakan sebagai metode untuk merepresentasikan SH ke dalam simpul atau tekstur. Simulator PRT akan menemukan kalkulasi pencahayaan.

Simulator PRT tersebut adalah kuat, metode yang fleksibel mampu memperhitungkan nilai order dan antar-reflektansi. Teknik ini telah menarik perhatian banyak peneliti komputer grafis dan profesional. Namun, untuk menjalankan metode ini dibutuhkan pendalaman tentang konsep - konsep proyeksi untuk fungsi dasar, integrasi fungsi empiris dan teori cahaya transportasi [6].

PRT menggunakan metode iterasi untuk setiap simpul dan menggunakan integrasi Monte Carlo untuk membuat koefisien. nilai-nilai tersebut disimpan pada setiap titik untuk penggunaan selanjutnya. Objek yang digunakan harus statis, karena objek yang statis dapat mengkalkulasi interreflectance pada cahaya dan mentransfer cahaya permukaan bawah.

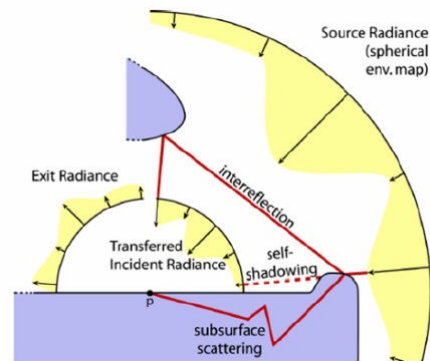


Figure 1: [4]

3.2 Irradiance Volume

Ketika PRT digunakan, disini memerlukan untuk objek bayangan yang bergerak melalui objek statis. Maka ini dinamakan Irradiance Volume. kemudian volume tersebut disimpan pada setiap titik kosinus visibilitas Lambertian. nilai tersebut akan membentuk fungsi 5D yang mempunyai index dan kemudian mengiriknya pada vektor SH ke GPU. Irradiance volume juga dapat dibangun dalam suatu lingkungan yang tidak mengandung geometri eksplisit. Irradiance volume direpresentasikan sebagai tiga struktur data yang berbeda samples, cells, grids. Samples mengandung nilai-nilai yang sesuai arah cahaya ke sebuah titik tertentu dalam lingkungan. Cells adalah kotak dalam ruang didefinisikan oleh delapan sampel di setiap sudutnya. grid adalah matriks tiga dimensi dari setiap sel, sel juga dapat mengandung grid lain didalamnya dan membentuk struktur bilevel. radiasi query dari sebuah volume memerlukan beberapa tahapan [5]:

1. Menghitung banyaknya grids yang berada dalam cells
2. Jika mengandung, maka hitung cells mana saja yang mengandung grids

3. Mencari mencari nilai data dalam sample sesuai dengan nilai w
4. Memberikan posisi x dalam sel dan 8 nilai dari sample sekitar interpolasi untuk mendapatkan radiasi

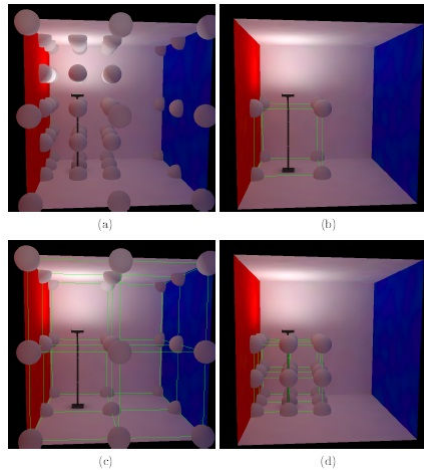


Figure 2: [5]

Spherical Harmonic memungkinkan Irradiance Volume menjadi penyimpanan efisien dan dievaluasi. Irradiance Volume sangat kompatibel dengan PRT dan memungkinkan bekerja secara cepat, efisien, dan realistis rendering pada aplikasi real time seperti games [9].



Figure 3: [5]

pada gambar 2 menjelaskan tentang grid pada contoh irradiance ditempati seluruh scene. dan pada saat render time, volume dipertanyakan dan yang mendekati sample irradiance diinterpolasi untuk memperkirakan global illumination pada titik dalam scene atau adegan.

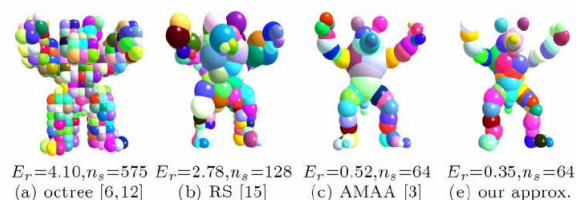
3.3 Shadow Blockers

Teknik ini digunakan untuk membayangi penghalang dinamik. Terdapat beberapa langkah dalam metode ini. Pertama, harus memperkirakan penghalang dinamik dengan bola. Kemudian, mengakumulasi visibilitas untuk titik dengan menambahkan semua log blockers secara bersama-sama.

3.3.1 Sphere approximation

Aproksimasi bola sangat penting untuk mewakili dinamic blocker. Salah satu memiliki angka minimal pada kemungkinan bola, sementara yang lain masih mewakili objek mesh secara akurat. Biasanya, menggunakan metode seperti octree akan menghasilkan banyak bola [8]. Pertama menceraiberaikan bola menyebrangi simpul mesh dan volume. Mereka mengembangkan metode penghitungan kesalahan yang menghasilkan aproksimasi bola. Mereka menggunakan metode ini untuk menyesuaikan dari posisi awal bola ke posisi yang menghasilkan kesalahan terendah. Wang dkk menggunakan metode clustering untuk menentukan jari-jari dan posisi bola. Namun, satu-satunya harus menambahkan titik ke bola yang menghasilkan peningkatan kesalahan terendah, bukan hanya menambahkannya ke bola terdekat.

Metode lain untuk menghitung posisi bola dan jari-jari adalah teleportasi bola. Teknik ini digunakan ketika peningkatan error naik setelah dilalui, untuk menjaganya dari minimum lokal. Ketika menggunakan teleportasi bola, pertama harus melokasikan bola yang mempunyai kesalahan tertinggi. Selain itu, melokasikan bola yang mempunyai volume overlapping terbesar dengan bola lainnya. Terakhir, menghapus bola dan memisahkan bola dengan kesalahan terbesar kedalam 2 bola baru. Bola tersebut kemudian melekat pada animasi mesh.



$E_r=4.10, n_s=575$ $E_r=2.78, n_s=128$ $E_r=0.52, n_s=64$ $E_r=0.35, n_s=64$
 (a) octree [6, 12] (b) RS [15] (c) AMAA [3] (e) our approx.

Figure 4: [8]

3.3.2 Log Sphere

Salah satu alasan bola digunakan dalam kalkulasi ini adalah karena bola merupakan rotationally invariant. visibilitas bola ditunjukkan 1 ketika terblocked dan 0 jika tidak terblocked.

Sekarang dapat mengiterasi seluruh bola dan mengkalkulasi visibilitas untuk titik P. Masalahnya adalah untuk mendapatkan hasil vektor SH mahal dan mendapatkan hasil pada vektor SH yang banyak yang tidak layak. Ren dkk mempersembahkan metode yang mentransformasikan vektor ke dalam log space. Kemudian dapat ditambahkan vektor secara bersama-sama. Metode ini mempercepat akumulasi blocker. Setelah penam-

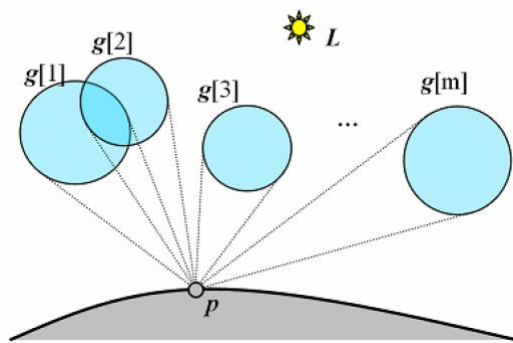


Figure 5: [11]

bahan lengkap, maka langkah selanjutnya adalah mengambil fungsi eksponensial pada vektor, sehingga menghitung total blocker vektor visibilitas.

3.4 Ray Tracing

Ray tracing sebagai sebuah metode rendering pertama kali digunakan pada tahun 1980 untuk pembuatan gambar tiga dimensi. Ide dari metode rendering ini sendiri berasal dari percobaan Rene Descartes, di mana ia menunjukkan pembentukan pelangi dengan menggunakan bola kaca berisi air dan kemudian merunut kembali arah datangnya cahaya dengan memanfaatkan teori pemantulan dan pembiasan cahaya yang telah ada saat itu [1].

Dalam metode ini, untuk membentuk objek yang kompleks dapat menggunakan mesh objek. telah diketahui, bahwa mesh objek membutuhkan waktu rendering yang lama dibandingkan dengan primitive objek. bentuk dari primitif objek sangat sederhana. Cara lain untuk membentuk obyek yang lebih kompleks dari primitive object adalah Constructive Solid Geometry (CSG). CSG adalah proses membentuk obyek yang kompleks dengan menggunakan primitive objects. Tiga operator dari CSG adalah union, intersection dan difference. Operator union adalah penggabungan dua buah obyek. Operator intersection adalah mengambil perpotongan dua buah obyek. Operator difference yaitu obyek pertama dikurangi obyek kedua. Proses penghitungan waktu tabrak CSG union yaitu dengan menghilangkan waktu berhimpitan dari kedua obyek. Proses penghitungan waktu tabrak CSG intersection adalah mengambil waktu yang berhimpitan dari kedua obyek. Proses penghitungan waktu tabrak CSG difference yaitu waktu-waktu obyek pertama dikurangi oleh waktu obyek kedua. Proses pencarian bayangan pada obyek CSG union yaitu memeriksa apakah cahaya dari lampu menabrak obyek satunya. Proses pencarian bayangan pada obyek CSG intersection tidak perlu dicari. Proses pencarian bayangan pada obyek CSG

difference adalah bila cahaya mengenai obyek pertama maka tidak perlu dicari bayangan dan bila cahaya mengenai obyek kedua maka pencarian bayangan diperiksa tabrakan cahaya dari lampu pada kedua obyek. Bila waktu tabrakan obyek pertama lebih besar dari pada obyek kedua maka terjadi bayangan. Hasil dari CSG adalah obyek-obyek yang dikombinasikan dari obyek-obyek dasar. Seperti union dari dua buah sphere, hasilnya akan seperti angka delapan terbalik. Intersection dari sphere dan cube, hasilnya akan seperti kotak dengan sudut-sudut yang tidak lancip. Difference cube oleh cube akan membentuk sebuah cube yang berlubang.

4 Penutup

Pencahayaan dalam gambar tiga dimensi sangat penting untuk menghasilkan objek real. Pencahayaan ini menggunakan spherical harmonic. Spherical harmonic digunakan untuk mewakili berbagai macam fenomena cahaya pada objek. metode yang digunakan yaitu Precomputed Radiance Transfer, Irradiance Volume, Shadow Blockers dan Ray Tracing. Pengkombinasian keempat metode tersebut menghasilkan hasil tata pencahayaan dalam game 3D akan menjadi realistis.

References

- [1] Magdalena Marlin Amanda. Algoritma pencarian melebar (bfs) dalam ray tracing rendering. In *Makalah IF2251 Strategi Algoritmik*, 2008. Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung.
- [2] Tania Amran. Graphic 3d. <http://my.opera.com/taniadwy/blog/graphic-3d>, February 2010.
- [3] Fuad. Global illumination. <http://blog.its.ac.id/fuad/2009/01/22/global-illumination/>, January 2009. Game Technology.
- [4] Robin Green. Spherical harmonic lighting: The gritty details. *GDC 2003*, January 2003. Sony Computer Entertainment America.
- [5] Gene S.. Greger. The irradiance volume. Master's thesis, A Thesis Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University, August 1996. in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science.
- [6] Diego Incio Patrcio Marcos Paulo Berteli Slomp, Manuel M. Oliveira. A

gentle introduction to precomputed radiance transfer. *RTA*, 2, 2006. Volume XIII içœ.

- [7] S.Akkouche dan E.Galin M.Mousa, R.Chaine. Efficient spherical harmonics representation of 3d objects. Claude Bernard University Lyon1, France.
- [8] John Snyder dkk Rui Wang, Kun Zhou. Variational sphere set approximation for solid objects. *Visual Comput (2006)*, August 2006.
- [9] Natalya Tatarchuk. Irradiance volumes for games, August-September 2005. 3D Application Research Group ATI Research, Inc.
- [10] Mayuran Thurairatnam. Lighting using sh. 2007. Department of Computer Science at Hood College.
- [11] John Snyder dkk Zhong Ren, Rui Wang. Real-time soft shadows in dynamic scenes using spherical harmonic exponentiation. In *ACM SIGGRAPH*, 2005.