

Penerapan Logika *Fuzzy* untuk Pembentukan Sutradara Otonom dalam hal Pencahayaan pada Machinima

(*Application of Fuzzy Logic to Develop Autonomous Directors for Lighting in Machinima*)

Andreas^{1,2}, Mauridhi H. Purnomo^{3,4}, Mochamad Hariadi^{3,4}

Abstract—Lighting is one of the most important things in the world of cinematography. There are several parameters that must be considered to produce good lighting. There are so many permutations in the lighting arrangement. It causes complexity of the process and there is no simple way to do the calculation. This complexity is compounded by the fact that each director has their own style in lighting arrangements in the film production process. This paper refers to the tabulation of the results of interviews with three movie directors and then the similarities of the three were taken. In this study, a fuzzy logic structure was built with five parameters of lighting arrangement, namely: the situation of the set, the camera's point of view, the installed light intensity, the position and direction of the camera, and the emotions of the character. This research was conducted using 20 animated movie scenes that were built using Unity. The assessment of the output is done manually by several animated film designers. As a result, the designers assess that 80% of the lighting arrangement has been as expected.

Intisari—Pencahayaan merupakan salah satu hal terpenting dalam dunia sinematografi. Ada beberapa parameter yang harus diperhatikan untuk menghasilkan pencahayaan yang baik. Ada begitu banyak permutasi dalam pengaturan pencahayaan ini. Hal ini menyebabkan rumitnya proses tersebut dan tidak ada cara yang cukup mudah untuk melakukan perhitungannya. Kerumitan ini ditambah lagi dengan kenyataan bahwa setiap sutradara memiliki gaya masing-masing dalam pengaturan tata cahaya dalam proses produksi film. Makalah ini mengacu pada tabulasi dari hasil wawancara terhadap tiga sutradara dan kemudian diambil kesamaan dari ketiganya. Pada makalah ini dibangun

suatu struktur logika *fuzzy* dengan lima parameter pengaturan pencahayaan, yaitu situasi dari *set*, *point of view* kamera, intensitas cahaya terpasang, posisi dan arah kamera, serta emosi dari karakternya. Uji coba dilakukan menggunakan dua puluh *scene* film animasi yang dibangun menggunakan Unity. Penilaian hasil keluaran dilakukan secara manual oleh beberapa desainer film animasi. Sebagai hasilnya, desainer menilai bahwa 80% tata cahaya yang dihasilkan sudah sesuai dengan keinginan.

Kata Kunci—Machinima, Sutradara Otonom, Pencahayaan.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia komputer dirasakan sangat pesat. Hal ini dikarenakan adanya peningkatan kebutuhan dari penggunaannya. Dewasa ini penggunaan komputer sudah sedemikian luasnya hingga mencakup di berbagai bidang, termasuk dalam proses pembuatan film animasi 3D [1].

Di dalam perfilman, terutama film animasi 3D, peran komputer sangatlah penting, karena dapat membantu proses pengerjaan menjadi lebih baik dan cepat. Seorang desainer akan sangat terbantu dengan adanya perangkat keras dan perangkat lunak yang ada. Bidang ilmu yang terkait dengan pembuatan film animasi 3D ini adalah Machinima.

Dalam dunia sinematografi, ada beberapa komponen penting yang dapat menunjang terciptanya sebuah film yang baik. Komponen-komponen tersebut adalah skenario, kamera, dan pencahayaan [2]. Skenario yang baik akan menghasilkan cerita film yang baik pula. Kamera berperan untuk memvisualisasikan skenario tersebut. Pergerakan kamera yang dinamis dibutuhkan dalam rangka membuat visualisasi menjadi lebih hidup. Pencahayaan digunakan untuk membuat visualisasi menjadi semakin hidup dan nyata.

Cahaya dalam sinematografi tidak hanya digunakan untuk menerangi suatu objek. Ada beberapa hal yang dikerjakan oleh pencahayaan. Pencahayaan menciptakan suatu gambar yang memiliki gradasi, pengaturan dan penyeimbangan warna objek, bentuk dan dimensi dari suatu objek, memberikan separasi sehingga suatu objek bisa terlihat menonjol dari latar belakangnya, memberikan kedalaman dari suatu bingkai (*frame*), memberikan tekstur, corak, dan eksposur (*exposure*) dari suatu objek [2].

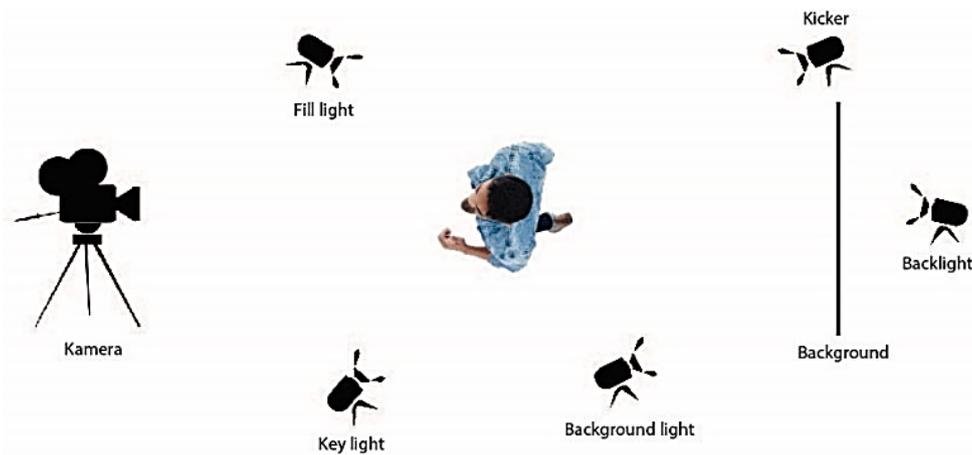
Pencahayaan memiliki permutasi dan variasi yang sangat banyak. Oleh karenanya, terdapat banyak sekali pilihan pencahayaan yang dapat digunakan dalam suatu adegan (*scene*). Hal inilah yang menyebabkan sangat sulitnya membuat suatu teknik pencahayaan yang sederhana. Yang biasanya dikerjakan oleh seorang desainer adalah melakukan beberapa kali

¹ Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jln. Teknik Mesin, Gedung B, C, dan AJ, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111, Jawa Timur, Indonesia (telp: 031-5994251; fax: 031-5931237; e-mail: andreas.jodhinata@gmail.com)

² Departemen Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pelita Harapan, Jln. Jend. A. Yani No.288, Surabaya 60234, Jawa Timur, Indonesia (telp: 031-58251007; fax: 031-58251020; e-mail: andreas.jodhinata@uph.edu)

³ Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jalan Teknik Mesin, Gedung B, C, dan AJ, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111, Jawa Timur, Indonesia (telp: 031-5994251; fax: 031-5931237; e-mail: hery@ee.its.ac.id, mochar@ee.its.ac.id)

⁴ Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jalan Teknik Mesin, Gedung B dan C, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya 60111, Jawa Timur, Indonesia (telp: 031-5922936; e-mail: hery@ee.its.ac.id, mochar@ee.its.ac.id)



Gbr. 1 Pengaturan pencahayaan [2].

percobaan untuk mendapatkan kombinasi pencahayaan yang sesuai dengan keinginan [2], [3]. Di dalam proses pencahayaan itu sendiri terdapat beberapa parameter yang memengaruhi hasilnya, yaitu jenis dari sumber cahaya yang digunakan, warna dan intensitas cahayanya, serta posisi sumber cahaya dan arah cahayanya terhadap objek yang disinari [2], [4].

Untuk menghasilkan pencahayaan yang baik, dibutuhkan beberapa sumber cahaya tambahan selain sumber cahaya yang sudah terpasang [2], [5], [6]. Penambahan sumber cahaya tambahan ini tergantung pada tuntutan skenario dan sangat dipengaruhi oleh keinginan sutradaranya.

Perancangan pencahayaan merupakan hal yang sangat penting dalam suatu fase produksi film animasi komputer. Pencahayaan digunakan untuk membangun suasana dari suatu *scene* dan memperkuat cerita (*storytelling*). Hal ini dapat dianggap sebagai kebalikan dari permasalahan iluminasi global. Perancangan pencahayaan memainkan peranan yang krusial pada perancangan pencahayaan dalam ruangan (*indoor*), sinematografi yang menggunakan komputer, dan banyak aplikasi lainnya [7].

Dalam teori mengenai iluminasi global dikatakan bahwa terdapat hubungan yang sangat rumit antara parameter-parameter pencahayaan dengan hasil dari efek pencahayaan itu sendiri [8], [9]. Hal ini menjadikannya kontra intuitif, bahkan bagi desainer yang sudah terlatih dengan baik. Guna memenuhi keinginan sutradara dalam hal pencahayaan, sering kali ditambahkan beberapa sumber cahaya selain yang sudah terpasang pada latar (*set*). Untuk mendapatkan efek yang diinginkan, seorang desainer pencahayaan harus bekerja keras untuk secara hati-hati dan berulang-ulang mengatur parameter pencahayaannya setiap kali ada satu sumber cahaya baru yang ditambahkan. Hal ini menjadikan aktivitas tersebut menjadi mahal dan membuang waktu karena adanya proses *rendering* yang banyak.

Telah dikemukakan bahwa dalam proses pembuatan sebuah film dibutuhkan beberapa sumber cahaya yang diletakkan pada posisi tertentu dengan jenis dan fungsinya masing-masing, meskipun dalam pengaturan yang sederhana [2]. Sumber cahaya yang diperlukan tersebut ada yang berfungsi sebagai *fill light*, *key light*, *background light*, *kicker*, dan *backlight*. Gbr. 1 menunjukkan pengaturan pencahayaan [2].

Pada makalah ini digunakan metode logika *fuzzy* karena cara kerjanya hampir sama dengan kinerja seorang sutradara yang bekerja berdasarkan aturan-aturan (*rule*). Makalah ini bertujuan membantu desainer film dan atau *game* 3D dalam pengaturan sumber cahaya dalam setiap *scene*-nya, sehingga para desainer tidak perlu lagi direpotkan dengan permasalahan pencahayaan. Desainer cukup meletakkan sumber cahaya terpasang, sedangkan sumber cahaya tambahan akan diletakkan dan diatur secara otomatis oleh aplikasi.

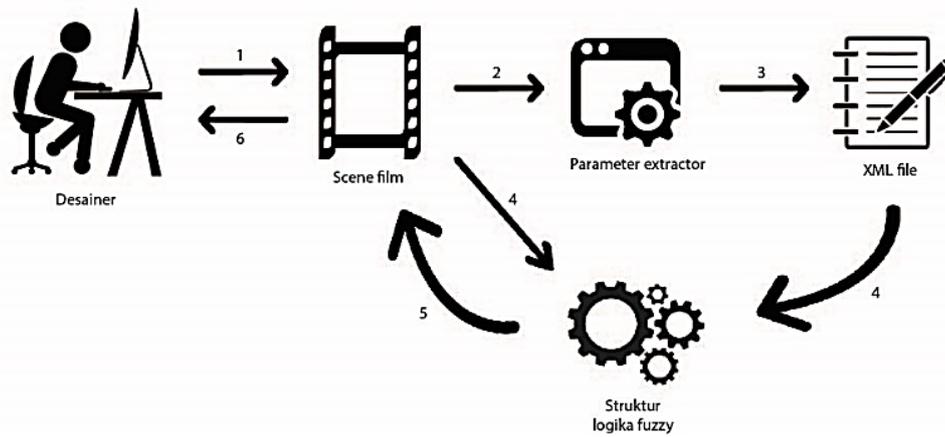
Hingga saat ini masih belum ada penelitian serupa yang diimplementasikan pada video 3D. Logika *fuzzy* digunakan karena memiliki kinerja yang menyerupai proses penyutradaraan. Rule pada logika *fuzzy* disusun berdasarkan hasil wawancara dengan beberapa sutradara film.

II. SKEMA UMUM

Pada makalah ini dibutuhkan beberapa potongan *scene* film animasi 3D yang dibentuk dengan menggunakan aplikasi Unity. Dari potongan *scene* tersebut dilakukan perekaman parameter-parameter yang digunakan sebagai masukan dari struktur logika *fuzzy* yang selanjutnya disebut dengan nama *spice system*. Perekaman parameter ini dilakukan menggunakan aplikasi bantu yang berbasis web. Data dari parameter-parameter tersebut disimpan ke dalam berkas (*file*) dengan format XML.

Setelah seluruh parameter direkam, langkah selanjutnya adalah memasukkan parameter-parameter tersebut ke dalam *spice system* untuk mendapatkan dua buah keluaran, yaitu berupa penentuan area yang memerlukan cahaya tambahan dan besar intensitas cahaya yang dibutuhkan tersebut. Gbr. 2 menunjukkan skema umum penelitian.

Dalam menentukan masukan bagi *spice system* ini, dibutuhkan pengetahuan mengenai parameter-parameter yang dapat memengaruhi keputusan seorang sutradara dalam menentukan area dari suatu objek yang perlu diberi cahaya tambahan. Penambahan sumber cahaya ini berkaitan dengan jumlahnya, posisi atau lokasinya, arah cahayanya, serta besarnya intensitas cahaya yang dibutuhkan. Untuk itu, diperlukan masukan dari beberapa sutradara film. Makalah ini mendapatkan masukan dari hasil wawancara terhadap tiga orang sutradara film. Karena setiap sutradara memiliki gaya



Gbr. 2 Diagram skema umum dari pembentukan sutradara otonom dalam hal pencahayaan pada Machinima.

sendiri dalam teknik pencahayaan, maka diambil beberapa parameter yang sama di sebagian besar sutradara, sehingga dapat dianggap sebagai kesamaan pendapat.

Setelah *spice system* menghasilkan keluaran, sumber cahaya tambahan secara otomatis ditambahkan ke dalam *scene*. Atribut dari setiap sumber cahaya tambahan tersebut juga diatur secara otomatis berdasarkan keluaran dari *spice system*.

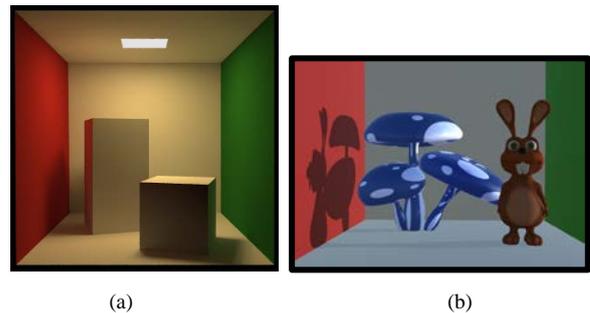
III. PEMBAHASAN

Seperti yang tampak pada Gbr. 2, sistem sutradara otonom yang dibangun memiliki enam subproses. Masing-masing subproses dijelaskan pada bagian ini.

A. Pembentukan Scene

Sebagai langkah awal adalah pembuatan potongan *scene* film animasi yang dibangun menggunakan aplikasi Unity. Ada dua jenis *scene* yang digunakan, yaitu *scene* yang dibangun menggunakan Cornell Box dan *scene* yang dibangun secara bebas. Dalam makalah ini dibangun delapan *scene* yang menggunakan Cornell Box sebagai latarnya, sedangkan yang dua belas lainnya menggunakan latar bebas yang dapat diunduh dari Unity Store. Cornell Box yang digunakan merupakan paket Cornell Box milik Cornell University yang diunduh melalui Unity Store, kemudian dilakukan perubahan terhadap objek-objek yang ada di dalamnya. Gbr. 3 menunjukkan penampakan Cornell Box yang asli dan yang sudah dimodifikasi. Untuk kebutuhan *scene*, diletakkan satu buah sumber cahaya berjenis *point light* di bagian luar kotak pada sisi kanan, tiga buah objek pendukung berupa model jamur, serta satu objek utama berupa model kelinci.

Latar bebas yang juga dibangun menggunakan aplikasi Unity merupakan sebuah gambaran situasi di dalam gudang dengan beberapa sumber cahaya terpasang berjenis *spot light* yang berfungsi sebagai lampu penerangan di dalam ruangan tersebut, objek pendukung berupa beberapa kotak peti kayu, serta satu objek berupa model manusia. Gbr. 4 menunjukkan latar bebas yang digunakan. Setelah kedua latar terbentuk, karakter dijalankan/digerak-kan untuk kemudian diambil beberapa *scene* dari animasi tersebut. Dalam makalah ini digunakan delapan potongan *scene* yang diambil dari latar Cornell Box dan dua belas *scene* dari latar bebas.



Gbr. 3 Contoh penggunaan Cornell Box, (a) Cornell Box yang diunduh dari Unity Store, (b) Cornell Box yang sudah dimodifikasi untuk keperluan pembentukan *scene*.

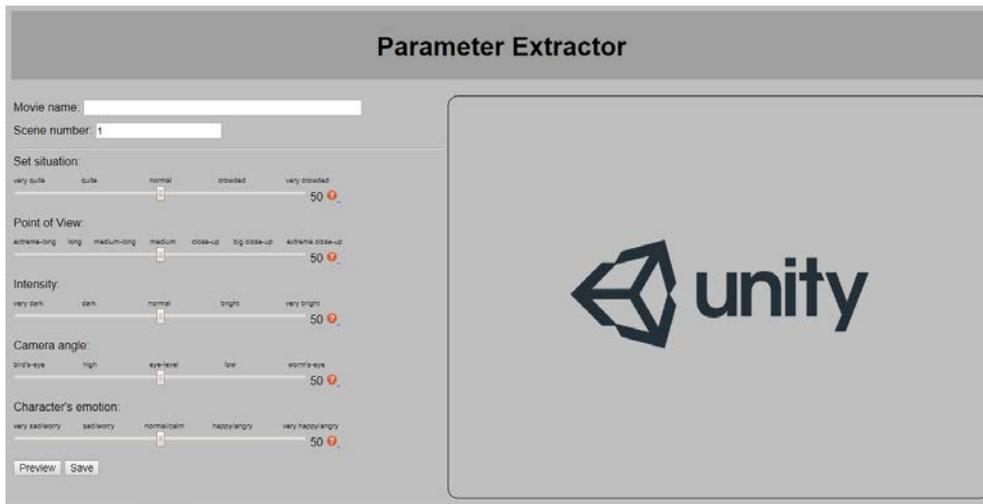


Gbr. 4 Penampakan latar bebas yang dibangun menggunakan aplikasi Unity.

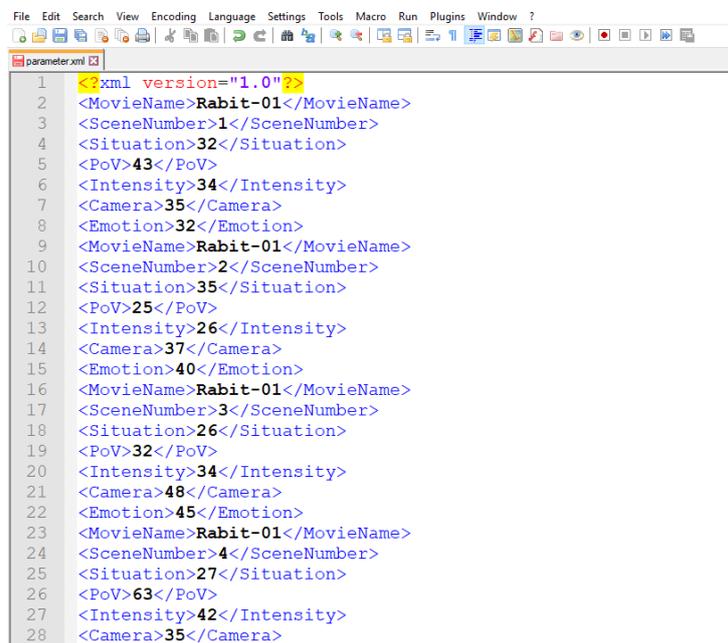
B. Parameter Extractor

Setelah potongan-potongan *scene* disimpan ke dalam *file* terpisah, masing-masing dicatat nilai parameter-parameter yang akan digunakan dalam perhitungan menggunakan *spice system*. Untuk keperluan ini, digunakan suatu aplikasi terpisah berbasis web yang diberi nama Parameter Extractor. Aplikasi ini selanjutnya menyimpan informasi mengenai parameter-parameter tersebut ke dalam suatu berkas teks dengan format XML. Gbr. 5 menunjukkan antarmuka aplikasi Parameter Extractor.

Dalam menggunakan aplikasi ini, pengguna memasukkan nilai-nilai setiap parameter dari masing-masing *scene* secara manual. Parameter-parameter yang dimasukkan adalah sebagai berikut.



Gbr. 5 Penampakan antar muka aplikasi Parameter Extractor.



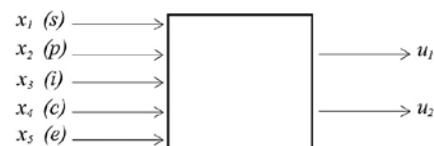
Gbr. 6 Contoh isi file XML yang digunakan sebagai masukan bagi spice system.

1) *Situasi Latar*: Situasi latar merupakan penilaian kualitatif dengan lima kelas, yaitu sangat sepi, sepi, normal, ramai, dan sangat ramai.

2) *Point of View*: *Point of view* merupakan sudut pandang kamera aktif pada *scene* yang bersangkutan. Ada tujuh kelas pada parameter ini, yaitu *extreme-long shot*, *long shot*, *medium-long shot*, *medium shot*, *close-up*, *big close-up*, dan *extreme close-up*.

3) *Intensitas*: Parameter ini merupakan penilaian kualitatif terhadap intensitas cahaya yang ada di dalam latar. Parameter ini dibagi menjadi lima kelas, yaitu sangat gelap, gelap, normal, terang, dan sangat terang.

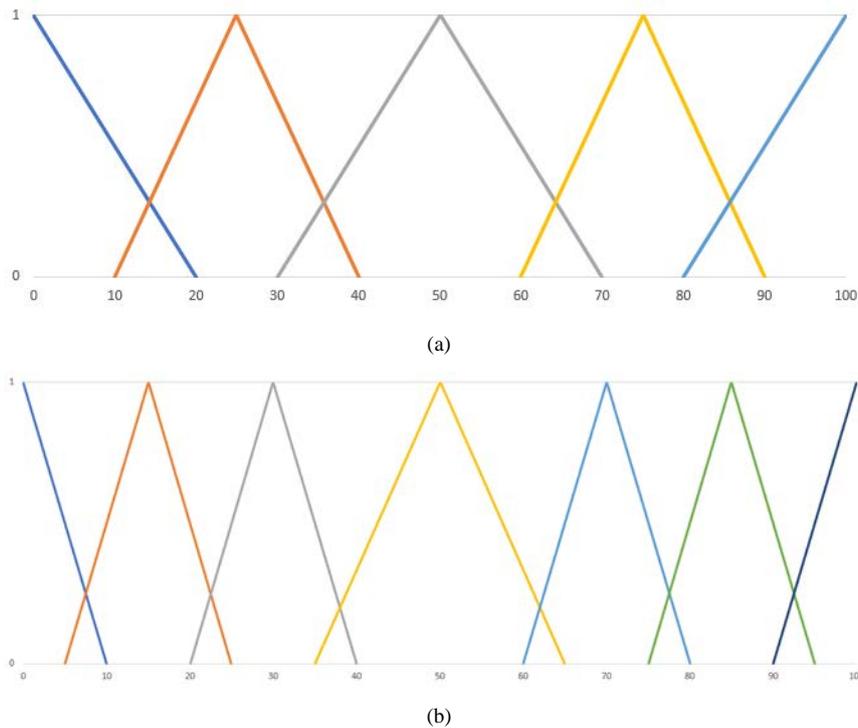
4) *Kamera*: Kamera merupakan parameter yang berhubungan dengan sudut pengambilan gambar antara kamera dan objek



Gbr. 7 Bagan struktur logika fuzzy yang digunakan untuk menentukan bagian objek yang akan diberi cahaya tambahan beserta intensitasnya.

yang berupa model karakter. Parameter ini dibagi menjadi lima kelas, yaitu *bird's-eye angle*, *high angle*, *eye-level angle*, *low angle*, *worm's-eye angle*.

5) *Emosi*: Emosi merupakan pencatatan secara kualitatif terhadap kondisi emosional objek yang berupa model karakter. Ada lima kelas pada parameter ini, yaitu sangat sedih atau



Gbr. 8 Fungsi keanggotaan, (a) situasi latar, intensitas cahaya terpasang, sudut pandang kamera, dan emosi karakter, (b) *point-of-view* dari kamera.

khawatir, sedih atau khawatir, normal atau tenang, senang atau marah, dan sangat senang atau marah. Bisa dilihat di sini bahwa kondisi emosional sedih dan khawatir dijadikan satu kategori, demikian juga dengan kondisi emosional normal dan tenang, serta senang dan marah.

Jika pengguna memerlukan bantuan dalam hal contoh kondisi dari masing-masing parameter tersebut, maka pengguna dapat menekan tombol bantuan yang tersedia di sisi kanan masing-masing parameter yang bersangkutan. Jika tombol bantuan ini ditekan, beberapa contoh *scene* ditampilkan pada sisi kanan layar aplikasi tersebut.

File XML yang dihasilkan dari aplikasi Parameter Extractor selanjutnya dibaca oleh *spice system* dan difungsikan sebagai masukan. *File XML* ini memiliki struktur sebagai berikut.

```
<MovieName>...</MovieName>
<SceneNumber>...</SceneNumber>
<Situation>...</Situation>
<PoV>...</PoV>
<Intensity>...</Intensity>
<Camera>...</Camera>
<Emotion>...</Emotion>
```

Gbr. 6 menunjukkan contoh isi *file XML* yang digunakan.

C. *Spice System*

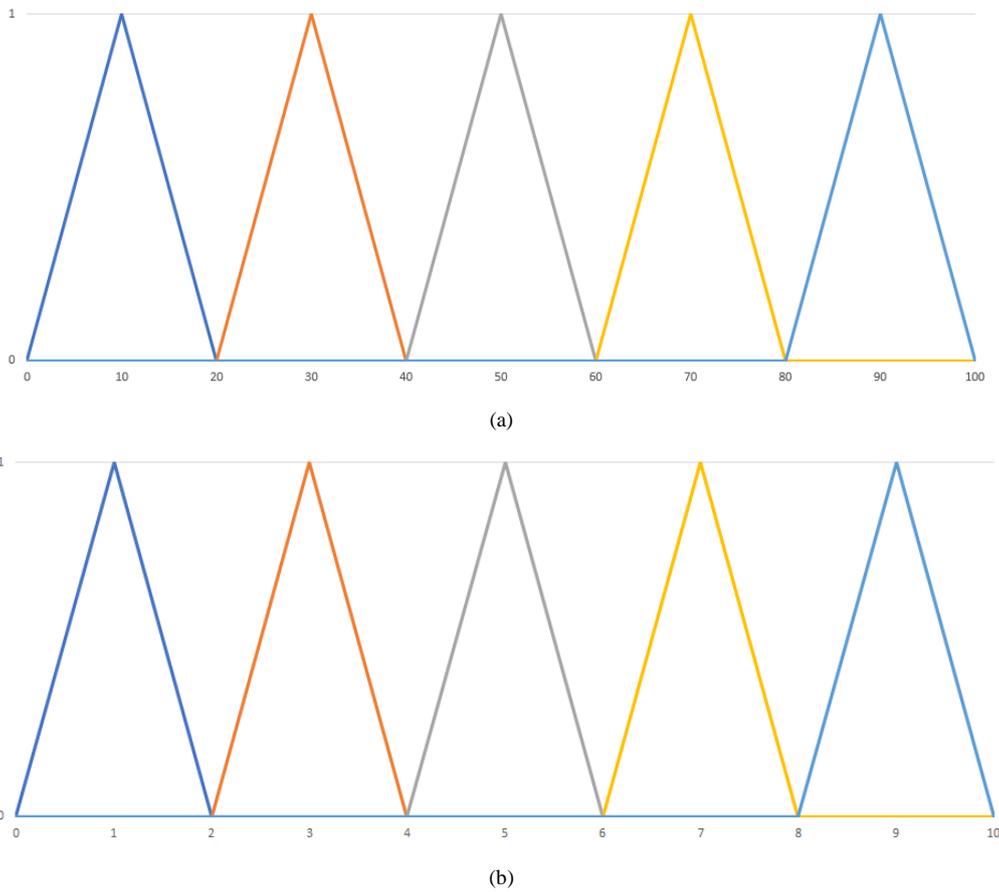
Spice system merupakan aplikasi inti dari penelitian ini. Sistem ini diberi nama *spice system* yang merupakan singkatan dari kelima parameter yang terlibat, yaitu s untuk *set* (situasi latar), p untuk *point-of-view* (sudut pandang kamera), i untuk *intensity* (intensitas cahaya terpasang), c untuk *camera* (posisi dan arah kamera), dan e untuk *emotion* (emosi dari karakter). Kelima parameter tersebut selanjutnya digunakan sebagai masukan bagi struktur logika *fuzzy* yang disebut *spice system*.

Gbr. 7 menunjukkan bagan dari struktur logika *fuzzy spice system*.

Untuk memudahkan perhitungan, kelima parameter yang menjadi masukan bagi *spice system* ini digambarkan pada sumbu *x* dalam fungsi keanggotaan *fuzzy* dengan rentang antara 0 hingga 100. Berdasarkan hasil wawancara dengan beberapa narasumber, fungsi keanggotaan dari masing-masing parameter masukan tersebut dapat digambarkan seperti yang terlihat pada Gbr. 8. Sedangkan fungsi keanggotaan dari masing-masing keluaran ditunjukkan pada Gbr. 9. Label yang diberikan untuk *u*₁ adalah {sangat sempit, sempit, normal, luas, sangat luas} dan untuk *u*₂ adalah {sangat rendah, rendah, normal, tinggi, sangat tinggi}.

Seperti telah dibahas sebelumnya, penentuan area yang akan diberi cahaya tambahan beserta tingkat intensitasnya dipengaruhi oleh lima parameter, yaitu suasana latar, *point-of-view* dari kamera aktif, intensitas cahaya terpasang, sudut kamera dalam pengambilan gambar, serta emosi dari karakter utama yang ada di dalam *frame*. Dalam struktur logika *fuzzy spice system*, kelima parameter tersebut secara berurutan diberi notasi sebagai masukan *x*₁, *x*₂, *x*₃, *x*₄, dan *x*₅. *Spice system* menghasilkan dua buah keluaran, yaitu *u*₁ untuk penentuan area yang akan diberi cahaya tambahan dan *u*₂ untuk besarnya intensitas cahaya yang ditambahkan. Aturan relasinya menjadi seperti yang tampak pada (1).

$$\begin{aligned}
 R_{11} &= (x_{11} \cdot u_{11}) \cup (x_{12} \cdot u_{12}) \cup \dots \cup (x_{1n} \cdot u_{1n}) \\
 R_{12} &= (x_{11} \cdot u_{21}) \cup (x_{12} \cdot u_{22}) \cup \dots \cup (x_{1n} \cdot u_{2n}) \\
 &\vdots \\
 R_{52} &= (x_{51} \cdot u_{21}) \cup (x_{52} \cdot u_{22}) \cup \dots \cup (x_{5n} \cdot u_{2n}).
 \end{aligned}
 \tag{1}$$



Gbr. 9 Fungsi keanggotaan, (a) area yang diberi tambahan cahaya, (b) tingkat intensitas cahayanya.

Maka, persamaan keluaran dari struktur logika *fuzzy* akan menjadi (2).

$$u_1^* = (x_1 \circ R_{11}) \cap (x_2 \circ R_{21}) \cap \dots \cap (x_5 \circ R_{51})$$

$$u_2^* = (x_1 \circ R_{12}) \cap (x_2 \circ R_{22}) \cap \dots \cap (x_5 \circ R_{52}).$$

(2)

D. Pencahayaan Otonom

Setelah didapatkan keluaran u_1 dan u_2 dari *spice system*, sumber cahaya tambahan akan ditambahkan ke dalam *scene* secara otomatis. Area dari objek yang diberi cahaya tambahan ditentukan oleh nilai u_1 , sedangkan intensitasnya mengacu pada u_2 .

Sebagai langkah akhir, *scene* yang telah diberi cahaya tambahan dinilai secara manual oleh desainer. Penilaian oleh desainer ini dibutuhkan dalam melakukan perbaikan (*adjustment*) pada proses perhitungan selanjutnya.

IV. HASIL

Proses pencahayaan otonom yang terjadi di dalam *spice system* ini dibagi menjadi empat tahapan, yaitu eksplorasi *scene*, perhitungan intensitas cahaya, struktur logika *fuzzy*, dan penambahan sumber cahaya.

A. Ekplorasi Scene

Tahap pertama dari sistem ini adalah membaca *scene* yang menjadi masukan. *Script* yang berfungsi untuk melakukan

TABEL I
ATURAN PEMBERIAN NAMA DAN TAG PADA OBJEK

Jenis Objek	Awalan Nama Objek	Nama Tag
Karakter	char	Character
Pendukung	supp	Support
Kamera	cam	Camera
Sumber cahaya	lgt	Light
Bidang datar	pln	Plane
Antarmuka	ui	UI

eksplorasi *scene* ini diletakkan di dalam *event start()*. Untuk memudahkan proses eksplorasi, dibuat kesepakatan dalam pemberian awalan nama dan *tag* terhadap objek yang ada di dalam *scene*. Tabel I menunjukkan aturan pemberian awalan nama dan *tag* pada objek.

Setelah semua objek yang ada di dalam *scene* didapatkan, langkah selanjutnya adalah mendapatkan semua atribut yang dimiliki oleh masing-masing objek tersebut. Tabel II menyajikan atribut-atribut yang diperlukan dari masing-masing jenis objek.

B. Perhitungan Intensitas Cahaya

Tahapan selanjutnya adalah proses perhitungan intensitas cahaya yang mengenai permukaan objek berjenis karakter. Permukaan objek yang dihitung intensitas cahayanya adalah hanya pada bidang yang menghadap kamera aktif. Intensitas cahayanya dapat dihitung menggunakan (3).

TABEL II
DAFTAR ATRIBUT DARI SETIAP OBJEK

Jenis Objek	Atribut	Subatribut
Karakter	Posisi	X, Y, dan Z
	Rotasi	X, Y, dan Z
	Dimensi	X, Y, dan Z
Pendukung	Posisi	X, Y, dan Z
	Rotasi	X, Y, dan Z
	Dimensi	X, Y, dan Z
Kamera	Posisi	X, Y, dan Z
	Rotasi	X, Y, dan Z
	Field of View	-
Sumber cahaya (directional light)	Posisi	X, Y, dan Z
	Rotasi	X, Y, dan Z
	Intensitas	-
	Warna	-
Sumber cahaya (point light)	Posisi	X, Y, dan Z
	Rotasi	X, Y, dan Z
	Intensitas	-
	Warna	-
	Rentang	-
Sumber cahaya (spot light)	Posisi	X, Y, dan Z
	Rotasi	X, Y, dan Z
	Intensitas	-
	Warna	-
	Rentang	-
	Spot Angle	-

TABEL III
CONTOH BAHAN PERHITUNGAN INTENSITAS CAHAYA

Nama Objek	Nama Atribut	Nilai Atribut
lgt_atas1	Posisi - X	-2,7200
	Posisi - Y	5,1200
	Posisi - Z	-0,2300
	Intensitas	1,0000
char_rabbit	Posisi - X	-4,3228
	Posisi - Y	0,02999
	Posisi - Z	0,49679

$$I_{(x,y,z)} = \frac{I}{4\pi\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2}} \quad (3)$$

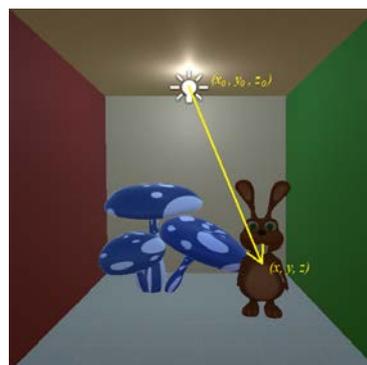
dengan I adalah besarnya intensitas cahaya yang berasal dari sumber cahaya terpasang, $I_{(x,y,z)}$ adalah besarnya intensitas cahaya pada permukaan objek pada titik koordinat (x, y, z) , sedangkan (x_0, y_0, z_0) adalah koordinat dari sumber cahaya terpasang. Hal ini diperlihatkan pada Gbr. 10.

Titik koordinat yang dimasukkan dalam perhitungan di sini nilainya sama dengan posisi objek yang bersangkutan. Hal ini dimungkinkan karena titik koordinat dari setiap objek yang dibuat dalam *scene* diatur berada di koordinat $(0, 0, 0)$ yang merupakan titik berat dari objek tersebut.

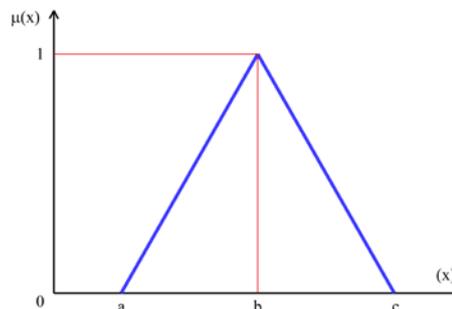
Sebagai contoh, pada film Rabbit-01 *scene* 1, didapatkan nilai intensitas pada permukaan karakter *char_rabbit* adalah sebesar 0,01477. Bahan perhitungannya ditunjukkan pada Tabel III.

C. Struktur Logika Fuzzy

Pada tahapan ini dibutuhkan parameter-parameter masukan yang dibaca dari *file XML* yang dihasilkan oleh aplikasi



Gbr. 10 Titik koordinat yang digunakan dalam proses perhitungan intensitas cahaya pada permukaan objek.



Gbr. 11 Fungsi segitiga $T(x,a,b,c)$.

TABEL IV
CONTOH NILAI PARAMETER MASUKAN

Nama Parameter	Simbol	Nilai
Situasi latar	s	32
Point of view	p	43
Intensitas cahaya terpasang	i	34
Sudut kamera	c	35
Emosi karakter	e	32

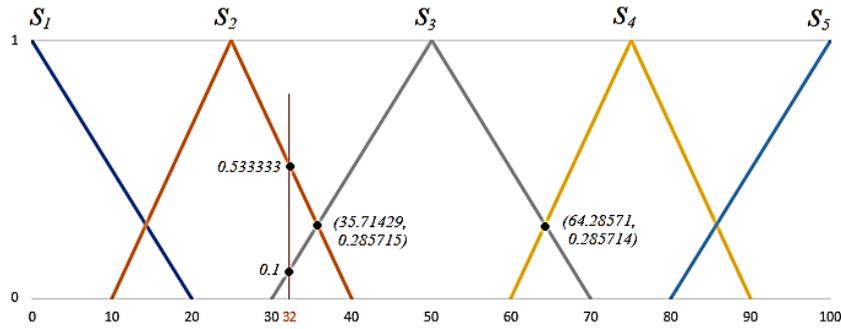
Parameter Extractor. Sebagai contoh, untuk film Rabbit-01 *scene* 1, digunakan nilai-nilai parameter masukan seperti yang tampak pada Tabel IV.

Untuk keperluan perhitungan derajat keanggotaan, setiap parameter tersebut diberi label menggunakan indeks sebanyak kelas yang dibutuhkan. Sebagai contoh, parameter s diberi label $s_1, s_2, s_3, s_4,$ dan s_5 untuk mewakili $\{very\ quite, quite, normal, crowded, very\ crowded\}$. Proses perhitungan fungsi keanggotaan menggunakan fungsi segitiga $T_{(x,a,b,c)}$ seperti dalam Gbr. 11, dengan definisi seperti dalam (4).

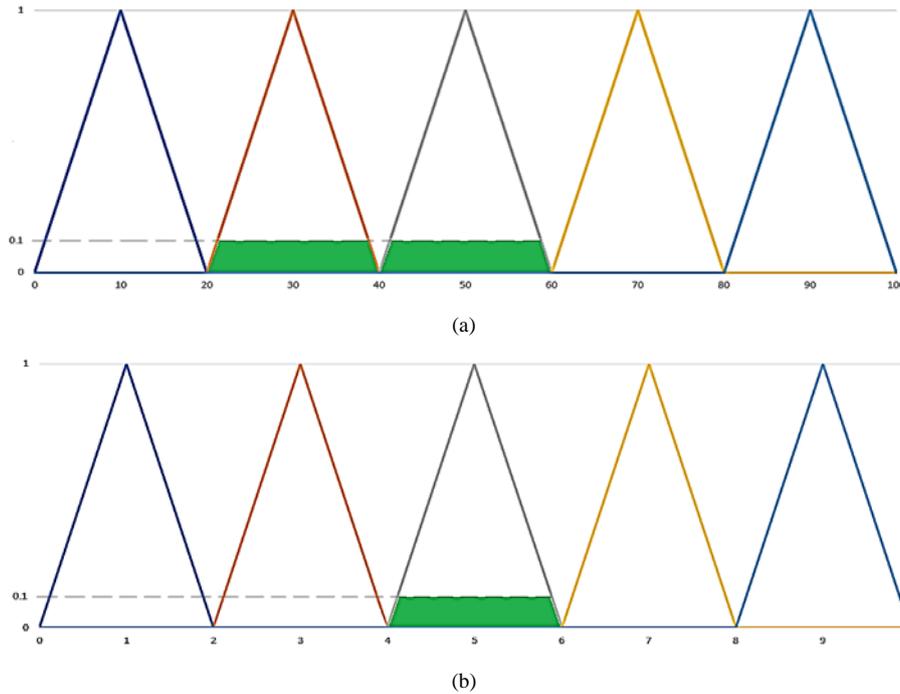
$$T_{(x,a,b,c)} = \begin{cases} 0 & \text{untuk } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{untuk } a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{untuk } b \leq x \leq c \\ 0 & \text{untuk } x > c \end{cases} \quad (4)$$

Sebagai contoh, nilai parameter s dari film Rabbit-01 *scene* 1 adalah 32, sehingga fungsi keanggotaannya dapat digambarkan seperti pada Gbr. 12. Nilai derajat keanggotaan dari s_2 dan s_3 pada $x = 32$ dapat dicari menggunakan (4) dan didapat nilai $\mu_{T,s_2} = 0,533333$ dan $\mu_{T,s_3} = 0,1$.

Dengan cara yang sama, dapat diperoleh nilai μ_T dari masing-masing parameter, seperti yang tampak pada Tabel V.



Gbr. 12 Kurva derajat keanggotaan dari parameter s pada fungsi segitiga.



Gbr. 13 Area keluaran, (a) μ_1 , (b) μ_2 .

TABEL V
NILAI DERAJAT KEANGGOTAAN DARI SCENE 1

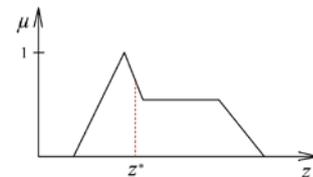
Parameter	x	Nilai μ_T	
s	32	$\mu_{T_{s2}} = 0,533333$	$\mu_{T_{s3}} = 0,100000$
p	43	$\mu_{T_{p3}} = 0,000000$	$\mu_{T_{p4}} = 0,533333$
i	34	$\mu_{T_{i2}} = 0,400000$	$\mu_{T_{i3}} = 0,200000$
c	35	$\mu_{T_{c2}} = 0,333333$	$\mu_{T_{c3}} = 0,250000$
e	32	$\mu_{T_{e2}} = 0,533333$	$\mu_{T_{e3}} = 0,100000$

Sedangkan himpunan fuzzy dari masukan *spice system* untuk film *Rabbit-01 scene 1* adalah seperti yang diperlihatkan pada Tabel VI.

Pada proses penerapan operator fuzzy terhadap 3.126 aturan yang ada, digunakan (5) untuk mendapatkan nilai masing-masing α . Hasilnya yang signifikan disajikan pada Tabel VII.

$$\alpha_n = \min(\mu_{T_s}, \mu_{T_p}, \mu_{T_i}, \mu_{T_c}, \mu_{T_e}). \quad (5)$$

Dengan (6), yaitu kebalikan dari (4), didapatkan nilai x seperti pada Tabel VIII dan ditunjukkan pada Gbr. 13(a).



Gbr. 14 Visualisasi persamaan (7).

$$x = \begin{cases} a + \mu_T(b - a) & \text{untuk } a \leq \mu_T \leq b \\ c - \mu_T(c - b) & \text{untuk } b \leq \mu_T \leq c \end{cases} \quad (6)$$

Kemudian pada tahapan defuzzification digunakan (7) untuk menghitung titik berat luasan sebagai dasar perhitungan yang menggunakan metode *Center of Area* (COA) atau *centroid*, seperti pada Gbr. 14.

$$z^* = \frac{\int \mu_x(z).zdz}{\int \mu_x(z)dz} \quad (7)$$

dengan $\int \mu_x(z).zdz$ merupakan momen dan $\int \mu_x(z)dz$ adalah luas daerahnya. Luas daerah pada contoh fungsi segitiga ini

TABEL VI
HIMPUNAN FUZZY DARI FILM RABBIT-01 SCENE 1

Parameter	x	Himpunan Fuzzy
s	32	[0 0,533333 0,1 0 0]
p	43	[0 0 0 0,533333 0 0 0]
i	34	[0 0,4 0,2 0 0]
c	35	[0 0,33333 0,25 0 0]
e	32	[0 0,533333 0,1 0 0]

TABEL VII
NILAI α YANG SIGNIFIKAN

α	Nilai α
α ₁	min(0,1; 0,533333; 0,2; 0,1) = 0,1
α ₂	min(0,533333; 0,25; 0,1) = 0,1
α ₃	min(0,533333; 0,2; 0,25; 0,1) = 0,1

TABEL VIII
NILAI x UNTUK SETIAP ATURAN

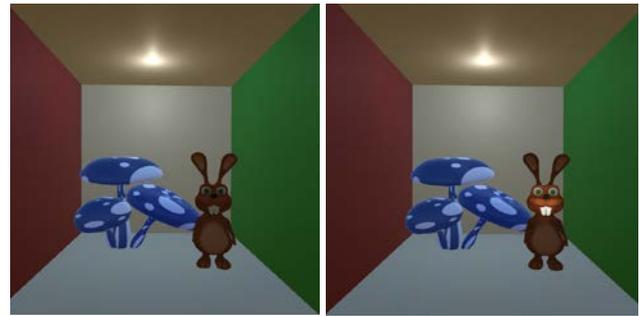
Aturan	Nilai x ₁	Nilai x ₂
1	41	59
2	21	39
3	21	39

merupakan jumlah dari empat segitiga dan dua persegi panjang. Sedangkan untuk menghitung momen dapat digunakan (8) atau (9) sebagai dasar perhitungan integralnya. Dari contoh tersebut, diperoleh luas daerah sebesar 5,8 dan besarnya momen adalah 152, sehingga didapatkan nilai z₁* untuk luas area yang akan diberi cahaya tambahan sebesar 26,21. Nilai ini menunjukkan persentase diameter spot angle dari sumber cahaya tambahan, yang dihitung mulai dari tinggi model yang bersangkutan.

$$\mu_{SF[z]} = \begin{cases} 0 & x \leq 20 \text{ atau } x \geq 60 \\ \frac{x-20}{30-20} & 20 \leq x \leq 21 \\ 0,1 & 21 \leq x \leq 39 \\ \frac{40-x}{40-30} & 39 \leq x \leq 40 \\ \frac{x-40}{50-40} & 40 \leq x \leq 41 \\ 0,1 & 41 \leq x \leq 59 \\ \frac{60-x}{60-50} & 59 \leq x \leq 60 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{SF[z]} = \begin{cases} 0 & x \leq 20 \text{ atau } x \geq 60 \\ 0,1x - 2 & 20 \leq x \leq 21 \\ 0,1 & 21 \leq x \leq 39 \\ 4 - 0,1x & 39 \leq x \leq 40 \\ 0,1x - 4 & 40 \leq x \leq 41 \\ 0,1 & 41 \leq x \leq 59 \\ 6 - 0,1x & 59 \leq x \leq 60 \end{cases} \quad (9)$$

Dengan metode yang sama dan menggunakan derajat keanggotaan seperti yang tampak pada Gbr. 13(b), parameter masukan tersebut juga digunakan untuk menentukan besarnya intensitas cahaya tambahan yang diperlukan. Dari hasil perhitungan didapatkan luas daerahnya adalah 0,19 dan besarnya momen adalah 0,95, sehingga didapatkan nilai z₂* untuk intensitas cahaya yang dibutuhkan sebesar 5. Karena nilai intensitas cahaya sebesar 5 ini adalah intensitas cahaya yang berada di permukaan objek, sedangkan letak sumber



(a) (b)

Gbr. 15 Perbandingan scene, (a) scene awal, (b) scene yang telah diperbarui oleh spice system.

TABEL IX
NILAI KELUARAN YANG DIHASILKAN

Scene	Posisi	Luasan Area	Intensitas Cahaya
1	(-3,75; 2,03; 3,25)	26,21000	13,04
2	(-1,58; 2,23; 1,61)	63,20537	19,94
3	(-1,85; 1,50; 2,21)	52,76587	5,60
4	(-4,12; 1,66; 2,19)	52,76587	10,04
5	(-2,90; 1,99; 2,72)	28,24916	14,30
6*	(-2,62; 2,72; 5,49)	44,30624	16,70
7	(-3,27; 2,05; 3,72)	32,81411	14,70
8	(-4,14; 1,62; 1,20)	38,58759	12,20
9	(2,711; 1,65; -2,493)	73,79793	11,10
10	(1,681; 1,907; -2,02)	57,04594	13,19
11	(3,081; 2,008; -2,432)	42,73485	10,28
12	(2,911; 1,731; -2,522)	85,95251	12,70
13	(3,831; 2,021; -4,64)	44,5037	7,54
14	(3,318; 1,529; -4,604)	58,09058	8,34
15*	(2,646; 2,241; -5,127)	48,49831	20,49
16	(3,565; 2,272; -4,502)	40,76471	9,01
17	(3,697; 1,718; -4,722)	40,76471	11,1
18*	(3,866; 1,676; -5,251)	72,94719	25,91
19	(3,823; 2,235; -4,649)	75,14622	12,50
20*	(3,886; 2,933; -5,356)	58,83081	20,85

* scene yang tidak memenuhi keinginan desainer

cahaya berada pada beberapa jarak dari objek, maka perlu dihitung besarnya intensitas cahaya yang keluar dari sumber cahaya tambahan tersebut.

Pada makalah ini, spice system menggunakan nilai 3 dalam menentukan range dari semua sumber cahaya tambahan yang diberikan. Dari script spice system didapatkan bahwa koordinat dari model Mr. Rabbit adalah (-2,72; 5,12; -0,23). Dengan menggunakan (3), diperoleh besarnya intensitas dari sumber cahaya tambahan adalah 39,11345. Karena range yang digunakan adalah 3, maka besarnya intensitas cahaya tambahan tersebut dibagi dengan 3, sehingga menghasilkan angka 13,03782. Angka inilah yang digunakan sebagai nilai intensitas dari sumber cahaya yang ditambahkan tersebut.

D. Penambahan Sumber Cahaya

Berdasarkan hasil keluaran dari spice system ini, maka ditambahkan sumber cahaya tambahan ke dalam scene yang bersangkutan. Hasil perbandingan antara scene pada saat

sebelum dan sesudah diberi cahaya tambahan diperlihatkan pada Gbr. 15.

Setelah dilakukan penambahan sumber cahaya, langkah selanjutnya adalah memberikan penilaian terhadap *scene* yang telah diperbarui tata pencahayaannya melalui *spice system*. Proses penilaian ini dilakukan secara manual, dengan *scene* yang baru akan diperlihatkan kepada beberapa desainer untuk diberi nilai, sudah sesuai dengan yang diharapkan secara manual atau belum.

V. KESIMPULAN

Keluaran dari sistem ini adalah *scene* yang telah diperbarui dengan cara menambah sumber cahaya tambahan secara otomatis untuk kemudian dinilai secara manual oleh beberapa orang desainer. Dari dua puluh *scene* yang digunakan, didapati bahwa ada enam belas *scene*, atau sebesar 80% *scene* yang digunakan, dapat memenuhi keinginan dari desainer-desainer tersebut. Untuk lebih jelasnya, hasil penelitian diperlihatkan pada Tabel IX. Nomor *scene* yang diberi tanda * adalah *scene* yang tidak memenuhi keinginan desainer atau dengan kata lain hasil keluaran aplikasi tidak sesuai dengan yang dikerjakan oleh desainer secara manual.

Jika diamati lebih lanjut, keempat *scene* yang belum memenuhi keinginan desainer tersebut memiliki *point-of-view* yang masuk dalam kelas *long shot* dan *extreme-long shot*. Hal ini dapat memberikan *bias* pada proses perhitungan, karena adanya jarak yang cukup jauh antara posisi kamera dengan objek yang akan diberi cahaya tambahan. Untuk mengatasi permasalahan ini, kemungkinan dapat diperhitungkan untuk tidak memberikan nilai baku terhadap *range* dari sumber cahaya tambahannya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan banyak terima kasih kepada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi

Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya yang telah menyediakan laboratorium untuk melakukan penelitian ini. Terima kasih juga diucapkan kepada Departemen Media Science dari Tokyo University of Technology, Tokyo, Jepang, yang telah memberikan akses laboratorium dan perpustakaan guna mendukung proses penelitian ini.

REFERENSI

- [1] R. Hartanto, "Implementasi Objek Grafis 3-D dengan POV-Ray," *JNTETI*, Vol. 2, No. 3, hal. 5–13, Agt. 2013.
- [2] B. Brown, *Cinematography Theory and Practice: Image Making for Cinematographers and Directors*, 2nd ed., New York, USA: Elsevier, 2012.
- [3] Y. Kanematsu, R. Motegi, K. Mikami, dan K. Kondo, "Direction Aided Light Set for 3DCG Production," *Journal of Graphic Science of Japan (JGSJ)*, Vol. 50, No. 3, hal. 3–10, Des. 2017.
- [4] R. Montes dan C. Urena, "An Overview of BRDF Models," Univ. of Granada, Spanyol, Tech. Report LSI-2012-001, hal. 1-26, 2012.
- [5] J. Jendersie, D. Kuri, dan T. Grosch, "Precomputed Illuminance Composition for Real-Time Global Illumination," *Proc. 20th ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*, 2016, paper 16, hal. 129–137.
- [6] M. McGuire, M. Mara, D. Nowrouzezahrai, dan D. Luebke, "Real-Time Global Illumination Using Precomputed Light Filed Probes," *Proc. 21th ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics and Games*, 2016, paper 2, hal. 129–137.
- [7] W.C. Lin, T.S. Huang, T.C. Ho, Y.T. Chen, dan J.H. Chuang, "Interactive Lighting Design with Hierarchical Light Representation," *EGSR*, Vol. 32, No. 4, hal. 133–142, Jun. 2013.
- [8] F.J. Luan, "Real-Time Global Illumination with Radiance Regression Functions," M.Eng. final project, Tsinghua University, Beijing, China, Jun. 2014.
- [9] P. Ren, J. Wang, M. Gong, S. Lin, X. Tong, dan B. Guo, "Global Illumination with Radiance Refression Functions," *ACM Transaction on Graphics - SIGGRAPH*, Vol. 23, No. 4, hal. 1-12, Jul. 2013.