

SIMULASI PERGERAKAN PENGUNJUNG MALL MENGUNAKAN *POTENTIAL FIELD*

***Arik Kurniawati, **Supeno MS Nugroho, ***Moch Hariadi**

Pasca Sarjana Jaringan Cerdas Multimedia (*Game* Teknologi), Jurusan Teknik Elektro, ITS
Jl. Raya ITS, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111

E-Mail: *ayyik@elect-eng.its.ac.id, **mardi@ee.its.ac.id, ***mochar@ee.its.ac.id

Abstrak

Simulasi kerumunan manusia yang *real-time* sulit untuk dilakukan karena perilaku yang dipamerkan pada kelompok besar ini sangat kompleks dan pelik. Beberapa hal yang perlu dicermati antara lain penanganan terhadap permasalahan *path planning* (perencanaan jalur), *collision avoidance* (penghindaran tabrakan), serta *separation* (pemisahan jarak). Salah satu metode untuk perencanaan jalur adalah *potential field* yang berbasis *grid*. Metode ini memiliki prinsip seperti medan magnet yang menarik atau menolak partikel besi yang ada di sekitarnya. Berdasarkan karakteristiknya, maka metode ini dapat digunakan untuk mensimulasikan pergerakan simulasi kerumunan manusia. Perilaku menolak partikel besi diaplikasikan untuk menghindari halangan dinding dan perilaku menarik diaplikasikan untuk keluar menuju pintu utama. Selain itu, diatur juga agar pergerakan antar orang tidak menimbulkan tabrakan. Setelah diadakan simulasi dan penelitian, maka pergerakan kerumunan manusia yang tersebar dalam ruang-ruang dan lorong-lorong di *mall* dengan menggunakan metode *potential field* dapat menghindari halangan dinding dan dapat bergerak keluar menuju pintu utama tanpa terjebak *local minima*. Namun, hasil penelitian ini masih memiliki kelemahan, yaitu akan terjadi tabrakan dengan orang lain jika daerah yang dituju sama. Tingkat frekuensi tabrakan semakin meningkat seiring meningkatnya jumlah populasi. Untuk jumlah populasi sebanyak 10 dapat terjadi satu kali tabrakan. Bahkan tabrakan dapat mencapai 9558 kali untuk jumlah populasi sebanyak 500.

Kata kunci: *path planning, collision avoidance, separation, potential field, local minima.*

Abstract

Real-time crowd simulation is complicated because large groups of people exhibit behavior of enormous complexity and subtlety. In crowd simulation, there are many factors that must be seriously addressed, such as: path planning, collision avoidance, and separation. Potential field is path planning with grid based. This method works as magnet field that attract or repulse iron particle. Based on its characteristic, it can be assumed that this method can be applied to figure the simulation of crowd people movement. Repulsing iron particle behavior is applied to avoid static obstacles and attracting is applied to drive the crowd to target. Beside, it also arranges the process the collision prediction to avoid collision with the others. After the simulation using potential field method, it can be known that the movement of the human crowd scattered in the rooms and hallways in the mall can avoid obstacles (walls) and able to find a target without trapped local minima. However, the possibility in collision with others in the same destination. The collision frequency is increasing as number of population developed, population 10 to 1 times the crash happened and could reach 9558 for a population of 500.

Key words: path planning, collision avoidance, separation, potential field, local minima.

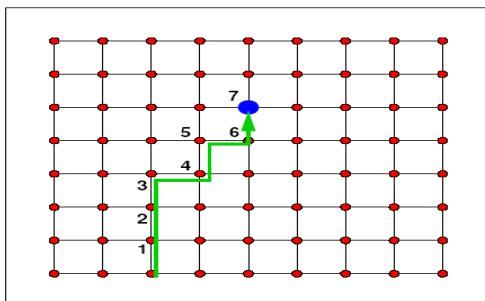
PENDAHULUAN

Salah satu aspek dalam animasi adalah bagaimana memodelkan sesuatu agar mirip dengan aslinya di dunia nyata. Menampilkan perilaku kerumunan yang alami sebagai peningkatan kualitas animasi menjadi tren utama dalam film dan *game*.

Mensimulasikan kerumunan manusia seperti di dunia nyata menjadi sesuatu kebutuhan pemodelan yang interaktif dan realistis. Simulasi kerumunan yang *real-time* ini sulit dilakukan karena perilaku yang dipamerkan pada kelompok besar ini sangat kompleks dan pelik.

Sebuah model kerumunan tidak hanya meliputi pergerakan individu manusia dalam lingkungannya dengan rintangan/batasan yang ada, akan tetapi juga interaksi dinamis antara orang-orangnya. Lebih jauh lagi, model harus dapat mencerminkan *Intelligent Path Planning* melalui perubahan lingkungannya. Dan selanjutnya, orang-orang yang berada di dalamnya harus dapat menyesuaikan jalan mereka secara dinamis. Bahkan perubahan tiba-tiba dari gerakan individu harus dapat ditangkap dalam efek simulasi ini [1].

Pada prinsipnya pergerakan kerumunan adalah bagaimana penanganan terhadap permasalahan *Path Planning* (Perencanaan Jalur), *Collision Avoidance* (Penghindaran Tabrakan), serta *Separation* (Pemisahan Jarak). Jika hanya menggunakan penghindaran tabrakan, maka model kerumunan yang nyata tidak akan dapat dihasilkan saat sekelompok orang tersebut mencapai tujuan. Konsekuensinya, banyak model kerumunan yang menggabungkan antara menghindari tabrakan (*collision avoidance*) dan perencanaan *global* (*global navigation*).



Gambar 1. Pergerakan dengan Tanda Khas [3].

Salah satu perencanaan *global* adalah *potential field* statis (*static potential field*) dengan berbasis *grid*. Prinsip kerjanya adalah

seperti kelereng yang menggelinding menuruni bukit. Kondisi lingkungan yang dilewati menjadi penentu arah dan pergerakannya, atau dapat juga digambarkan seperti medan magnet yang menarik atau menolak partikel besi [2].

BEHAVIOUR KERUMUNAN

Path finding

Pergerakan dalam suatu simulasi sangat erat kaitannya dengan *path finding* (pencarian jalan). *Path finding* adalah salah satu dasar algoritma dalam konsep menggerakkan karakter. Pergerakan obyek menuju sasaran dengan mengambil nilai *potential field* yang lebih besar diperlihatkan dalam Gambar 1.

Collision Prediction

Dalam setiap *frame* simulasi kerumunan (*crowd simulation*), kebutuhan untuk memprediksi tabrakan dengan orang lain menjadi sebuah keharusan. Setelah seseorang berhasil menghindari tabrakan, maka ia akan kembali ke jalur aslinya.

Jika sebuah tabrakan telah dapat diprediksikan, maka jenis tabrakan yang terjadi harus ditentukan. Ada tiga kemungkinan jenis tabrakan, yakni:

1. *Toward collision* atau *face-to-face*/berhadapan-hadapan, yaitu terjadi ketika seseorang berjalan menuju satu sama lain (Gambar 2a).
2. *Away collision* atau *rear*/di belakangnya. Tabrakan ini akan terjadi ketika seseorang berjalan di belakang orang lain atau ada hambatan di depannya (Gambar 2(b)).
3. *Glancing collision*, yaitu tabrakan yang berasal dari samping kanan atau samping dan berjalan menuju daerah yang sama (Gambar 2(c)).

Collision Avoidance (Penghindaran Tabrakan)

Penghindaran tabrakan antar orang ternyata dapat menimbulkan banyak permasalahan ketika berurusan dalam kerumunan. Sebuah metode untuk menghindari tabrakan antar individu menjadi tidak efisien ketika digunakan dalam kerumunan banyak orang. Ada lebih banyak kendala yang terjadi dalam sebuah variabel lingkungan yang kompleks (dengan hambatan yang tetap, rintangan

mobile/bergerak dan daerah yang kecil untuk berjalan) dan mencakup banyak orang [5]. Namun, jika struktur grup dalam kelompok harus dipertahankan, maka harus ada penambahan parameter lain dalam kerumunan kompleksitas untuk menghindari tabrakan [6].

Walaupun *collision avoidance* (penghindaran tabrakan) terlihat begitu kompleks dalam realitanya, namun hal ini dapat didefinisikan menjadi beberapa aturan yang sederhana. Berikut ini adalah cara-cara bagaimana mengantisipasi berbagai jenis tabrakan:

1. *Toward Collisions*

Tahap pertama adalah menentukan apakah akan bertabrakan di sebelah kiri atau kanan dari seseorang. Pengamatan menunjukkan bahwa seseorang akan memiliki tiga cara yang berbeda untuk menghindari tabrakan:

- a. Mengubah arah saja
- b. Mengubah kecepatan saja
- c. Mengubah arah dan kecepatan

Jika tidak ada perilaku yang ditemukan untuk menghindari tabrakan, maka seseorang tersebut hanya akan berhenti berjalan. Setelah orang lain keluar dari jalur tabrakan maka seseorang tersebut akan melanjutkan jalannya.

2. *Away Collisions*

Jika seseorang berjalan di belakang orang lain atau dengan kata lain seseorang tersebut tepat di belakang orang lain, sehingga akan terjadi tabrakan dengan orang lain yang ada di depannya. Untuk mengatasi situasi ini, maka seseorang tersebut ada dua pilihan:

- a. Menyesuaikan kecepatan dengan orang yang ada di depannya dengan memperlambat kecepatannya.
- b. Berjalan dengan kecepatan tinggi dengan mengambil jalur di samping depan orang lain.

3. *Glancing Collisions*

Cara untuk mengantisipasi jenis tabrakan ini sama seperti dengan metode nomor 1 (*toward collisions*).

Potential Field

Konsep dasar metode *potential field* digambarkan seperti partikel besi yang bergerak menuju objek melalui medan magnet yang dibuat oleh objek yang dituju. Pergerakan

ini tergantung dari medan magnet yang ada, yaitu partikel akan ditarik ke arah tujuan atau justru sebaliknya partikel tersebut akan ditolak oleh medan magnet pada saat bertemu halangan [7].

Potential Field Aktraktif

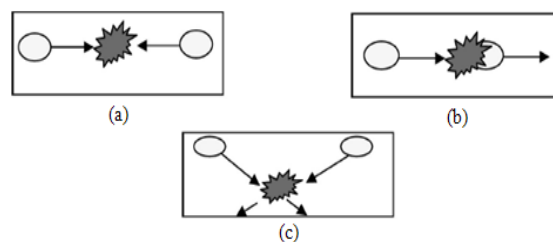
Potential field atraktif adalah *potential field* yang mengatur bagaimana setiap agen yang ada bergerak mengarah ke tujuan, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 3.

Perhitungan nilai *potential field* tujuan, didapatkan dari konsep *potential field* dari elektrostatika [8], yaitu dengan menggunakan Persamaan (1).

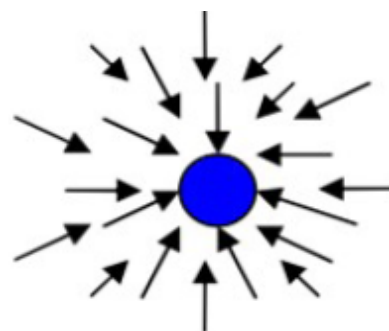
$$V_{g_a} = V * \exp(-\lambda * X_{g_a}) \quad (1)$$

Dimana:

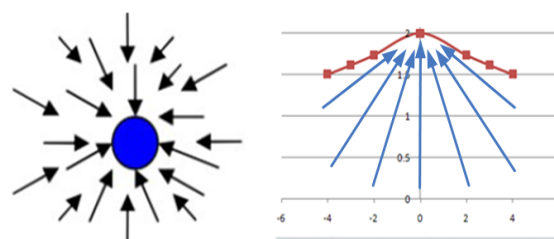
- V = Konstanta *potential field*
- A = Konstanta
- V_{g_a} = *Potential field* untuk tujuan
- X_{g_a} = Jarak ke tujuan



Gambar 2. Tipe-tipe Tabrakan [4]. (a) *Toward Collision*, (b) *Away Colliso*, dan (c) *Glancing Collision*.

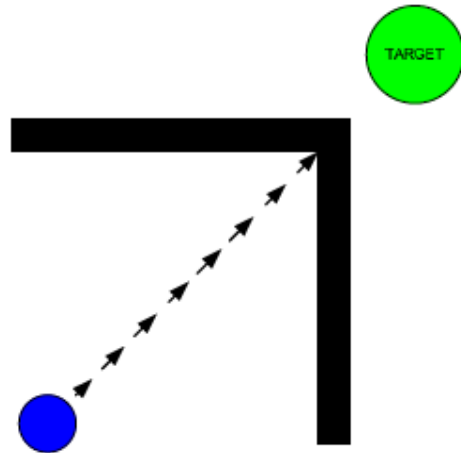
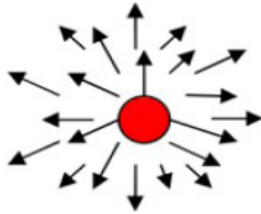


Gambar 3. *Potential Field* Aktraktif.

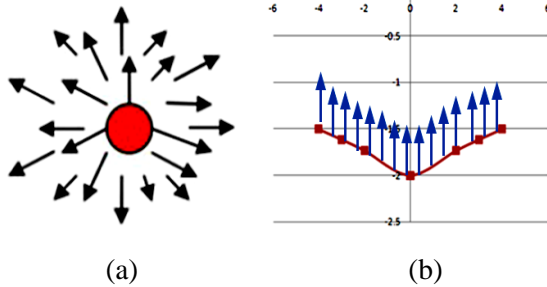


(a) (b)

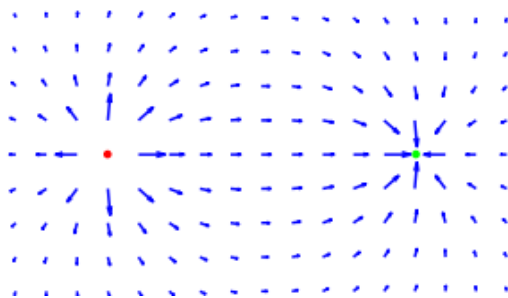
Gambar 4. Implementasi Fungsi Eksponensial untuk *Potential Field* Aktraktif.
 (a) *Potential Field* Aktraktif dan
 (b) Grafik Eksponen *Potential Field* Aktraktif.



Gambar 5. *Potential Field* Repulsif.



Gambar 6. Implementasi Fungsi Eksponensial untuk *Potential Field* Aktraktif.
 (a) *Potential Field* Repulsif dan
 (b) Grafik Eksponen *Potential Field* Repulsif.



Gambar 7. *Potential Field* Gabungan.

Gambar 8. Permasalahan *Local Minima*.

Persamaan (1) dapat digunakan untuk menentukan nilai *potential field* aktraktif dengan memanfaatkan puncak gundukan. Dalam artian, semua partikel yang berada di bawah nilai puncak gundukan tersebut akan tertarik ke puncak gundukan (yang mempunyai nilai tertinggi). Jadi dapat diibaratkan puncak gundukan adalah target yang akan dituju. Ilustrasi ini seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 4.

Potential Field Repulsif

Potential field repulsif adalah *potential field* yang mengatur bagaimana setiap agen dapat menghindari halangan (*obstacle*) yang ada, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 5.

Perhitungan nilai *potential field* halangan, didapatkan dari konsep *potential field* dari elektrostatika [8], dengan menggunakan Persamaan (2).

$$V_{g_o} = -V * \exp(-\lambda * X_{g_o}) \quad (2)$$

Dimana:

- V = Konstanta *potential field* halangan
- A = Konstanta
- V_{g_o} = *Potential field* untuk *obstacle*
- X_{g_o} = Jarak ke *obstacle*

Persamaan (2) jika dimanfaatkan untuk menghitung nilai *potential* repulsif, maka partikel tidak akan tertarik ke puncak gundukan. Namun sebaliknya, partikel akan menolak dan berlari menuju nilai yang lebih tinggi. Jadi dapat diibaratkan garis yang membentuk fungsi eksponensial itu, harus dijauhi atau dalam artian halangan harus dihindari seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 6.

n1	n2	n3
n4	n5	n6
n7	n8	n9

Gambar 9. Bentuk Grid.

Setiap *potential field* dapat dirancang tersendiri untuk digunakan dalam menghadirkan suatu perilaku khusus. Dengan mengkombinasikan beberapa *potential field* yang ada maka pergerakannya dapat mencapai tingkat perilaku yang beragam [7].

$$\begin{aligned}
 & \text{Potential Field total} \\
 & = \text{Potential Field Atraktif} + \text{Potential Field Repulsif} \quad (3)
 \end{aligned}$$

Akibat dari penggabungan ini adalah nilai *potential field* yang didapat pada daerah tujuan merupakan nilai paling tinggi dari sekitarnya sehingga partikel akan bergerak menuju tujuan. Sedangkan pada halangan nilai-nilainya adalah lebih rendah, dengan tujuan agar partikel dapat menghindari halangan (Gambar 7).

Permasalahan Local Minima

Permasalahan *local minima* merupakan permasalahan yang melekat pada *potential field*. Tidak ada solusi standar untuk menyelesaikan permasalahan *local minima* [9].

Local minima terjadi ketika agen terjebak pada penghalang karena nilai dari posisinya mengarahkan ke daerah itu. Hal ini berarti agen tidak dapat mengakses nilai yang lebih tinggi dari posisinya sekarang karena agen berada pada nilai terendah dibanding sekelilingnya. Sehingga agen tidak dapat menemukan target yang dituju (Gambar 8).

Grid

Cara pengorganisasian *potential field* adalah dengan membuat area menjadi *grid*. Tiap kotak pada *grid* adalah sebuah posisi dan setiap posisi memiliki sebuah nilai yang merepresentasikan sedekat apa posisi tersebut dengan target.

Grid seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 9 mempunyai fungsi untuk menyimpan resultan *potential field* dari seluruh vektor *repulsive* halangan. Vektor resultan ini kemudian ditambahkan dengan vektor dari target. Sehingga pergerakan seseorang hanya mengikuti arah vektor resultan tersebut menuju target.

PERANCANGAN SISTEM

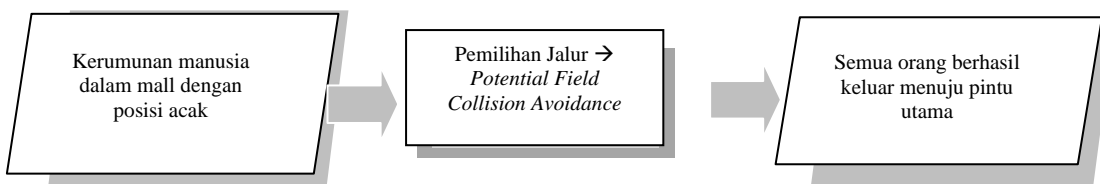
Pada bagian ini akan dijelaskan beberapa hal tentang mengenai proses perancangan simulasi yang dibuat. Diagram penelitian ditunjukkan dalam Gambar 10, yaitu menggambarkan sebuah sistem simulasi yang akan dibuat.

Simulasi ini menggambarkan pergerakan kerumunan manusia mencari jalan keluar lewat pintu utama di sebuah *mall*. *Goal* dari simulasi ini adalah semua orang yang berada dalam ruangan dapat keluar menuju pintu utama.

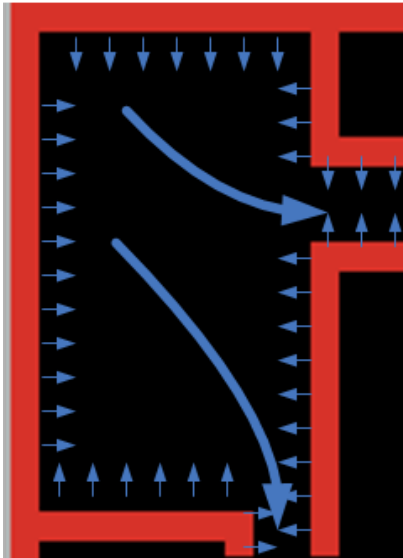
Masing-masing orang yang berhasil sampai menuju pintu utama tidak sama waktunya. Hal ini tergantung dari panjang lintasan seseorang, kecepatan berjalan dan jalur lintasan yang dilewati. Pemilihan jalur menuju pintu utama menggunakan Algoritma *Potential Field*.

Halangan

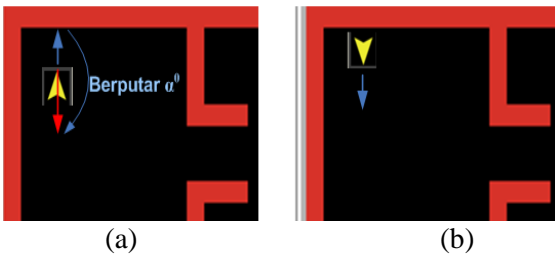
Halangan statis dalam simulasi adalah dinding pembatas ruangan dan halangan permanen lainnya yang terdapat di tengah-tengah ruangan. Halangan statis diibaratkan sebagai *potential field* repulsif, seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 11.



Gambar 10. Diagram Blok Penelitian.



Gambar 11. Halangan Statis sebagai *Potential Field Repulsive*.



Gambar 12. Pergerakan Seseorang ketika akan Menabrak Halangan Statis.
(a) Kondisi Awal dan
(b) Kondisi Setelah Berputar.



Nilai pada daerah ini dibuat lebih tinggi dari sebelumnya.

Nilai pada daerah ini dibuat lebih tinggi dari sekitarnya.

Gambar 13. Nilai *Potential Field* Jalur Penghubung antar Ruang.

Agar seseorang dapat keluar dari ruangan-ruangan kecil dalam mall tersebut, maka rancangan *potential field* jalur-jalur penghubung antar ruangan dijadikan *potential field* atraktif atau dibuat lebih tinggi dari lingkungan sekitarnya (Gambar 13).

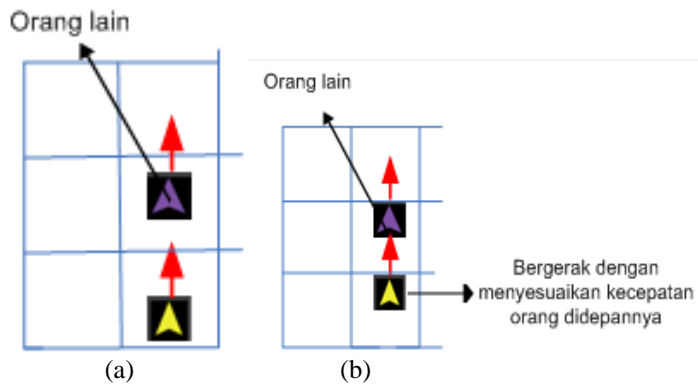
Selain halangan statis tersebut, ada halangan lain yang bersifat dinamis yakni orang-orang di sekitarnya yang juga berusaha mencari jalur keluar ke pintu utama. Jika seseorang menemui halangan dinamis, maka ada beberapa jenis pergerakan yang mungkin dilakukan, antara lain:

1. Jika di depannya ada orang lain:
 - a. Jika orang lain tersebut bergerak searah dengan seseorang yang ada di belakangnya, maka pergerakan orang tersebut akan menyesuaikan orang yang dihadapannya (Gambar 14). Aturan yang digunakan pada kondisi Gambar 14, antara lain:
 - i. Simpan kecepatan bergerak orang yang di depannya.
 - ii. Kecepatan orang di depannya dikurangi dan menjadi kecepatan bergerak orang di belakangnya.
 - iii. Bergerak searah.
 - b. Jika orang lain tersebut bergerak tidak searah dengan seseorang yang ada di belakangnya maka pergerakan orang tersebut akan berputar arah haluan mencari tempat yang kosong (Gambar 15). Namun, jika tidak ada tempat kosong, maka orang yang tersebut akan berhenti sampai mendapatkan tempat.

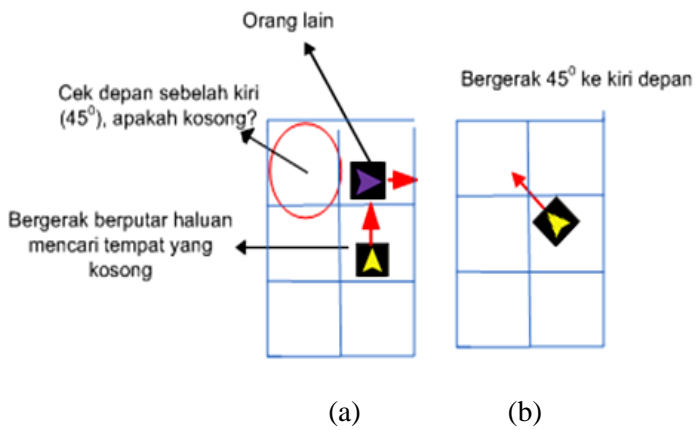
2. Jika daerah yang dituju sama dengan daerah yang dituju oleh orang lain, maka hal ini dapat menyebabkan tabrakan jika tidak dihindari. Untuk mengantisipasinya, arah pergerakannya diputar mencari tempat yang kosong, seperti yang diilustrasikan dalam Gambar 16.

Target

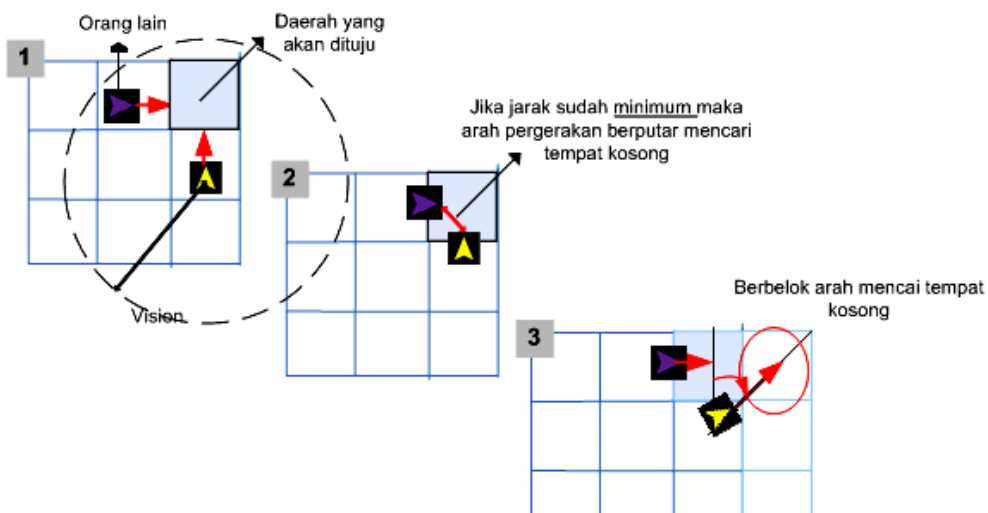
Target adalah area yang harus dituju oleh semua orang, yang tak lain adalah *potential field* atraktif. Area tersebut mempunyai pengaruh atau *influence* yang meliputi seluruh area.



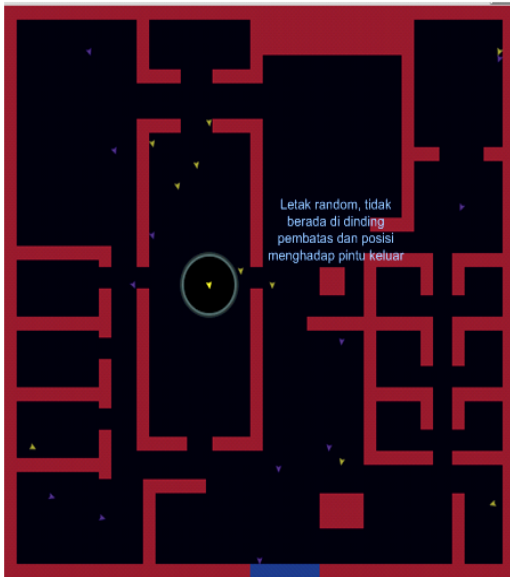
Gambar 14. Pergerakan yang Searah. (a) Kondisi Awal dan (b) Kondisi Setelah Bergerak.



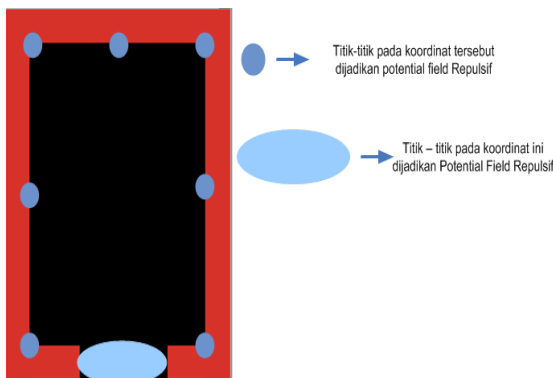
Gambar 15. Pergerakan 45° ke Kiri Depan. (a) Kondisi Awal dan (b) Kondisi Setelah Bergerak.



Gambar 16. Jika Daerah yang Dituju Sama.



Gambar 17. Rancangan Posisi Setiap Orang.



Gambar 18. Rancangan Perhitungan *Potential Field* Jalur Penghubung ke-1.

Skenario Pergerakan Kerumunan Manusia Menuju Pintu Utama

Posisi orang-orang di dalam mall diatur secara *random*. Posisi setiap orang tidak ada yang sama dan tidak boleh menempati area dinding yang berwarna merah. Selain itu, posisi menghadap setiap orang diatur menghadap pintu utama seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 17.

Algoritma Pemilihan Jalur Menggunakan *Potential Field*

Pemilihan jalur alternatif menuju pintu utama menggunakan Algoritma *Potential Field*. Rancangan skenario Algoritma *Potential Field*, adalah sebagai berikut:

1. *Potential field* halangan statis diberi nilai = 0.
2. *Potential field* jalur-jalur penghubung di setiap ruangan dijadikan *potential field* atraktif sehingga diberi nilai lebih tinggi dari sekitarnya. Sedangkan dinding-dinding dalam ruangan diberi nilai *potential field* repulsif. Agar orang-orang dalam ruangan tersebut dapat keluar menuju jalur penghubung dan bergerak menjauhi dinding, maka kedua nilai *potential* tersebut digabungkan sesuai dengan Persamaan (4) dan (5).

$$V_{g_0} = -V * \exp(-\lambda * X_{g_0}) \quad (4)$$

$$V_{g_1} = V * \exp(-\lambda * X_{g_1}) \quad (5)$$

Dimana:

V = Konstanta *potential field*, V=2
(Pemilihan angka 2 agar nilai hasil tidak terlalu besar)

Λ = Konstanta 0,05 (Pemilihan angka 0.05 agar grafik eksponensialnya tidak terlalu landai dan tidak terlalu runcing)

V_{g₁} = *Potential Field* atraktif untuk jalur penghubung ke-1

V_{g₀} = *Potential Field* repulsif untuk dinding-dinding dalam ruangan tersebut

X_{g₁} = Jarak ke jalur penghubung ke-1

X_{g₀} = Jarak ke *Obstacle*

Rancangan perhitungan diilustrasikan dalam Gambar 18.

Jika nilai *Potential field* jalur penghubung ke-1 sudah didapatkan, maka nilai *Potential field* jalur penghubung ruang ke-2 adalah nilai *potential field* jalur penghubung ke-2 ditambah dengan nilai *Potential field* repulsif dari dinding-dinding sekitarnya. Nilai-nilai tersebut kemudian digabungkan dengan nilai *Potential field* sebelumnya (jalur penghubung ke-1), dan berikut seterusnya sesuai dengan Persamaan (6), (7), dan (8).

$$V_{g_2} = V_{g_2} + V_{g_0} \quad (6)$$

$$V_{g_2} = V_{g_2} + V_{g_1} \quad (7)$$

$$V_{g_i} = V_{g_i} + V_{g_{i-1}} \quad (8)$$

Jadi, nilai *potential field* yang ada dalam peta ruangan mall tersebut adalah penjumlahan *potential field* jalur-jalur penghubung antar ruangan. Urutan penjumlahan berdasarkan letak ruangan dimulai dari yang paling dalam sampai

dengan mendekati pintu utama, seperti dalam Gambar 19.

3. *Potential field* target diset dengan nilai paling tinggi dari sekitarnya. Jadi, perhitungan nilai *potential field* untuk target merupakan nilai *potential field* target ditambah dengan perhitungan nilai-nilai *potential field* jalur-jalur penghubung sebelumnya sesuai dengan Persamaan (9).

$$V_{g_a} = V * \exp(-\lambda * X_{g_a}) \quad (9)$$

Dimana:

V = Konstanta *potential field*, $V=2$

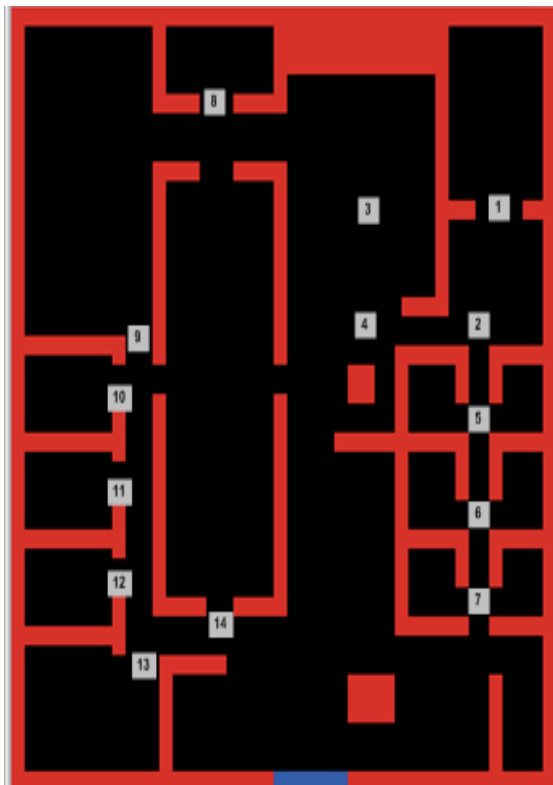
λ = Konstanta 0,05

V_{g_a} = *Potential field* untuk tujuan

X_{g_a} = Jarak ke tujuan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji coba dirancang dalam beberapa skenario uji coba untuk melihat faktor keberhasilan dari rancangan simulasi yang dirancang sebelumnya.



Gambar 19. Urutan Perhitungan *Potential Field* Jalur Penghubung antar Ruangan.

Skenario Pertama

Skenario pertama adalah jika seseorang dalam perjalanannya menemui halangan statis, yakni akan menabrak dinding. Pengamatan dilakukan dengan memvariasi berbagai arah gerak orang yang akan menabrak dinding. Hasil uji coba ke- 1 sampai dengan ke-4 menunjukkan bahwa jika seseorang akan menabrak dinding, maka dia akan berputar ke kanan sebesar $(180 + \text{random } 180)^0$ seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 1.

Skenario Kedua

Skenario kedua adalah pengamatan tentang terhadap pergerakan seseorang jika berpapasan dengan orang lain, yaitu:

1. Jika ada orang lain di depannya dengan arah yang sama, maka orang yang berjalan di belakangnya menyesuaikan kecepatannya dengan orang yang di depannya. Sedangkan arah geraknya tergantung pada tempat yang kosong di depannya.
2. Hasil uji coba ditampilkan dalam Tabel 2. Jika ada orang lain di depannya dengan arah yang berbeda, maka orang yang berjalan di belakangnya menyesuaikan kecepatannya dengan orang yang di depannya. Sedangkan arah geraknya tergantung pada tempat yang kosong di depannya.
3. Hasil uji coba ditampilkan dalam Tabel 3. Tampak dari hasil uji coba untuk skenario ini (Tabel 4), masih terjadi tabrakan antar orang. Terlebih lagi jika jumlah populasinya sangat besar, maka frekuensi tabrakan juga semakin besar.
Jika daerah yang dituju sama, maka uji coba simulasi dilakukan dengan variasi jumlah populasi.

Skenario Ketiga

Skenario ketiga ini adalah perbandingan pengamatan pergerakan kecepatan seseorang untuk sampai tujuan. Uji coba dilakukan dengan memvariasi daerah asal. Kecepatan berjalan orang dewasa lebih cepat dari orang tua. Hasil simulasi seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 5.

Skenario Keempat

Skenario keempat ini adalah skenario utama pencapaian hasil simulasi, yaitu mengenai Tabel.1. Data Uji Perputaran Sudut Menghindari Rintangan.

No	Uji coba ke-n	Sudut Kedatangan	Sudut Perputaran	Keberhasilan Menghindari Rintangan
1	1	45°	225°	Ya
2	2	135°	315°	Ya
3	3	125°	305°	Ya
4	4	30°	210°	Ya

Tabel 2. Data Uji Pergerakan skenario ke-2(1).

No	Uji coba ke-n	Berhasil Mencari Tempat Kosong	Kecepatan Lebih Pelan
1.	1	Bergerak lurus	Ya
2.	2	Berputar	Ya
3.	3	Bergerak lurus	Ya
4.	4	Berputar	Ya

Tabel 3. Data Uji Pergerakan skenario ke-2(2).

No	Uji coba ke-n	Berhasil Mencari Tempat Kosong	Kecepatan Lebih Pelan
1.	1	Bergerak lurus	Ya
2.	2	Berputar	Ya
3.	3	Berputar	Ya
4.	4	Berputar	Ya

Tabel 4. Data Uji Pergerakan skenario ke-2(3).

No	Uji coba ke-n	Jumlah Populasi	Jumlah Tabrakan
1.	1	10	1
2.	2	50	37
3.	3	100	197
4.	4	200	1046
5.	5	400	3957
6.	6	500	9558

Tabel 5. Data Uji Skenario ke-3.

No	Uji Coba ke-n	Waktu Orang Dewasa	Waktu Orang Tua
1.	1	68.1	82.4
2.	2	100	105
3.	3	84	93
4.	4	47.1	58

Tabel 6. Data Uji Skenario ke-4.

DAFTAR PUSTAKA

Jumlah Populasi	Jumlah Orang Sampai di Tujuan	Jumlah Orang Masih di Ruangan	Waktu Keluar Rata-Rata	% Keberhasilan yang keluar
10	10	0	124.3	100
50	50	0	126.95	100
100	100	0	142.35	100
200	200	0	182.75	100
400	400	0	252	100

pergerakan orang keluar menuju pintu utama. Uji coba dilakukan dengan memvariasi jumlah populasi. Tampak dalam Tabel 6 bahwa semua orang (dalam berbagai jumlah populasi yang berbeda) yang terdapat dalam *mall* berhasil keluar menuju pintu utama tanpa ada yang tertinggal di dalam ruangan. Hanya saja waktu yang diperlukan akan semakin lama jika jumlah populasinya semakin besar.

SIMPULAN

Dari penelitian penggunaan metode *potential field* dalam simulasi kerumunan untuk pergerakan orang-orang keluar menuju pintu utama dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dalam kemampuan menghindari halangan statis (dinding), tingkat keberhasilan mencapai 100%.
2. Jika dilihat dari *collision avoidance* dengan orang lain, tingkat keberhasilannya sudah mencapai 100% untuk kondisi jika ada orang lain di depannya. Akan tetapi jika daerah yang dituju adalah sama maka masih terjadi tabrakan. Tingkat frekuensi tabrakan semakin meningkat seiring meningkatnya jumlah populasi. Untuk jumlah populasi 10, terjadi satu kali tabrakan dan dapat mencapai tabrakan 9558 untuk jumlah populasi 500.
3. Kemampuan pergerakan orang keluar menuju pintu utama memiliki tingkat keberhasilannya 100% (tidak terjadi *local minima*). Hal ini terjadi karena gaya tarik yang diberikan oleh *potential field* atraktif di jalur penghubung lebih kuat dari pada gaya tolak dari dinding yang diberikan oleh *potential field* repulsif.

- [1] Treuille A, Cooper S, and Popovi Z. *Continuum Crowds*. URL: <http://grail.cs.washington.edu/projects/crowd-flows/continuum-crowds.pdf>, diakses tanggal 20 Oktober 2009.
- [2] Michael A and Goodrich. *Potential fields Tutorial*. URL: <http://students.cs.byu.edu/~cs470ta/readings>, diakses tanggal 11 Desember 2009.
- [3] Thureau C, Bauckhage C, and Sageger G. *Learning Human Like Movement Behavior for Computer Games*. URL: <http://www.airesearch.techfak.uni-bielefeld.de/files/papers/Thureau2004-LHL.pdf>, diakses tanggal 15 Desember 2009.
- [4] Foudil C, Nouredine D, Sanza C, and Duthen Y. *Path Finding and Collision avoidance in Crowd Simulation*. *Journal of Computing and Information Technology*. 17: 217-228. 2009.
- [5] Lightfoot TJ and Milne GJ. *Modelling Emergent Crowd Behaviour*. URL: <http://www.csse.uwa.edu.au/ComplexSystems/Literature/Modelling%20Emergent%20Crowd%20Behaviour.pdf>, diakses tanggal 18 Desember 2009.
- [6] Wolff M, Birenbaum A, and Sagar E. *Crowd Notes on the behaviour of pedestrians*, In *People in Places: The Sociology of the Familiar*. New York: Praeger. 1973.
- [7] Villena HC. *Multiple Potential field In Quake 2 Multiplayer*, Master Thesis Department of Software Engineering and Computer Science Blekinge Institute of Technology. URL: [http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/5a0cf1e001ac9489c12571f100512ae6/\\$file/MasterThesisHectorVillena.pdf](http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/5a0cf1e001ac9489c12571f100512ae6/$file/MasterThesisHectorVillena.pdf), diakses tanggal 1 Desember 2009.
- [8] NetLogo User Community Models. *OBS*. URL: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/community/OBS.nlogos>, diakses tanggal 1 November 2009.
- [9] Laue T and Rover T. *A Behavior Architecture for Autonomous Mobile Robots Based on Potential field*, in *RoboCup 2004: Robot World Cup VIII*. Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer. (Nr. 3276,S): 122-133. 2005. URL: <http://www.informatik.uni-bremen.de/kogrob/papers/rc05-potentialfields.pdf>, diakses tanggal 17 Desember 2009.