



TESIS - EE185401

**PEMODELAN PROPAGASI API DALAM RUANGAN  
TERTUTUP BERBASIS MULTIPLE STATE  
VARIABLES CELLULAR AUTOMATA**

GALIH PUTRA RIATMA  
2214205001

DOSEN PEMBIMBING  
DR. EKO MULYANTO YUNIARNO, ST., MT.  
DR. SUPENO MARDI SUSIKI NUGROHO, S.T., MT.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019





TESIS - EE185401

**PEMODELAN PROPAGASI API DALAM RUANGAN  
TERTUTUP BERBASIS MULTIPLE STATE  
VARIABLES CELLULAR AUTOMATA**

GALIH PUTRA RIATMA  
2214205001

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.  
Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, S.T., MT.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019



## LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Galih Putra Riatma  
NRP. 2214205001

Tanggal Ujian : 21 Desember 2018  
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh:

1. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT. (Pembimbing I)  
NIP: 196806011995121009
2. Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT. (Pembimbing II)  
NIP: 197003131995121001
3. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. (Penguji)  
NIP: 195809161986011001
4. Diah Puspito Wulandari, ST., M.Sc. (Penguji)  
NIP: 198012192005012001



Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. H. Arief Sardjono, S.T., M.T.  
NIP. 197002121995121001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul "**PEMODELAN PROPAGASI API DALAM RUANGAN TERTUTUP BERBASIS MULTIPLE STATE VARIABLES CELLULAR AUTOMATA**" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, September 2018



Galih Putra Riatma

NRP. 2214205001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# PEMODELAN PROPAGASI API DALAM RUANGAN TERTUTUP BERBASIS *MULTIPLE STATE VARIABLES* *CELLULAR AUTOMATA*

Nama mahasiswa : Galih Putra Riatma  
NRP : 2214205001  
Pembimbing : 1. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.  
2. Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, S.T., MT.

## ABSTRAK

Pemodelan penyebaran api adalah area studi yang menarik dan menantang dan banyak dipelajari dalam literatur. Api adalah fenomena alam yang sering dijumpai dalam kehidupan, sifat api yang menyala dan menimbulkan efek terbakar memiliki peran penting dalam banyak kasus baik sebatas *visual effect* maupun peran penting dalam alur cerita. Begitu pentingnya api dalam kehidupan sehari-hari mempengaruhi proses pembuatan *game* dimana api dapat menyebar dan menyebabkan kerusakan.

Pola penyebaran api memiliki sifat yang dapat dimodelkan berdasarkan bahan bakar dan waktu relatif saat titik api pertama muncul. Dengan menjabarkan kondisi yang tepat, alur penyebaran api dapat disimulasikan dan diaplikasikan dalam sebuah game untuk menambah kesan imersif dan realistis.

dalam ruang yang sama tetapi titik api yang berbeda, titik api dimana terletak dengan benda yang mudah terbakar paling banyak, dalam penelitian ini yaitu berupa kain akan memiliki kecepatan perambatan api paling cepat, yaitu 35% dari seluruh area, dibandingkan dengan 31,7% dari seluruh area jika titik api awal terisolasi.

*Cellular Automata* menggunakan prinsip bahwa sebuah daerah dibagi menjadi sel-sel kecil dimana tiap sel memiliki atribut yang berbeda. Tiap sel dapat mengakses dan merubah atribut sel yang berada tepat berdampingan dengan sel tersebut. Prinsip ini mirip dengan sifat api yang hanya dapat membakar benda yang berada tepat di sebelahnya. Dengan menambahkan atribut berupa *Health Point* dalam tiap sel, maka simulasi penyebaran api dapat diciptakan dan dimodifikasi sesuai kebutuhan.

Kata kunci: api, banyak atribut, pola penyebaran, *cellular automata*, sel.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ***CLOSED ROOM FIRE PROPAGATION MODELLING USING MULTIPLE STATE VARIABLES CELLULAR AUTOMATA***

By : Galih Putra Riatma  
Student Identity Number : 2214205001  
Supervisor(s) : 1. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.  
2. Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, S.T.,  
MT.

## ***ABSTRACT***

*The modelling of fire propagation is an interesting yet challenging study, nevertheless it is often discussed in many literatures. Fire is a natural phenomenon that occurs in our daily lives, its fiery and igniting characteristics which contributes to burning effect have important roles in many cases. From a mere visual effect to key event on main storytelling. The importance of fire and how it is spread on daily lives influence game developing process where a fire can start and spread, causing destruction.*

*Fire has a spread pattern that can be based on the material it is igniting and how long has the fire has been flaming since the hotspot first occurs. With correct implication, the pattern of fire propagation can be simulated and applied to a game to contribute to realism and immersion aspect of any games.*

*In a two exact copy of room, an ignition point near an inflammable material, in this case cloth, will result in larger fire spread compared to an isolated ignition point. An ignition point near inflammable material will burn 35% of total area compared to 31.7% if the ignition point is isolated, in the same time frame.*

*Cellular Automata is based on a priciple where a region or area is divided into two dimensional cells where every cells have unique attributes. Every cells can influence other cells given the cells are neighbours to each other. This principle is comparable to thermodynamics where heat or in this case, fire, can only spread to an area next to the ember. Given the Health Point on every cells, a fire simulation can be build and modified accordingly.*

*Key words: fire,multiple state variables, spread pattern, cellular automata, cell.*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Segala puji syukur kepada ALLAH SWT Tuhan Semesta Alam. Berkat rahmat-NYA, penulis dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik. Tesis dengan judul “PEMODELAN PENYEBARAN API DALAM RUANGAN BERBASIS CELLULAR AUTOMATA” dapat diselesaikan untuk memenuhi syarat kelulusan dan memperoleh gelar Magister Teknik pada bidang konsentrasi Teknologi Permainan, pada studi Jaringan Cerdas Multimedia, jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Segala keterbatasan penulis dalam mengerjakan Tesis ini tidak terlalu menghambat penyelesaian penelitian atas bantuan dari segala pihak baik dari rekan-rekan mahasiswa, dosen, dan kerabat yang telah meluangkan waktu dan pikirannya dalam membantu penulis. Beberapa pihak yang telah berperan besar dalam penyusunan ini, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya, terutama untuk:

1. Bapak Eka Mandayatma serta Ibu Sri Lestari sebagai orang tua yang tidak henti-hentinya memberi doa, dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan studi program Magister. Dukungan mereka yang memberi semangat dan kekuatan kepada penulis dalam menyelesaikan buku tesis.
2. Pembimbing 1 Bapak Eko Mulyanto
3. Pembimbing 2 Bapak Supeno Mardi
4. Penguji
5. Seluruh dosen pengajar dan staff Jurusan Elektronika ITS khususnya bidang keahlian Jaringan Cerdas Multimedia yang telah memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga kepada penulis
6. Kawan seperjuangan Gametech 2014 yang sudah lulus lebih dahulu. Kebersamaan dalam menyelesaikan studi S2 kita adalah pengalaman berharga
7. Rekan-rekan dosen Polinema yang selalu memberi motivasi untuk penulis agar terus berjuang menyelesaikan studi.

Penulis sepenuhnya menyadari bahwa hasil karya ini sangatlah jauh dari kata “sempurna”. Walaupun penulis menganggapnya sebagai pencapaian yang tak disangka tapi tentulah masih banyak kekurangan yang dapat dikoreksi oleh pihak lain. Meskipun bagi penulis, ada rasa takjub dan bahagia yang mendalam karena telah menyelesaikannya. Dan semoga dapat dijadikan tema penelitian selanjutnya untuk menyempurnakan penelitian yang telah dikerjakan oleh penulis.

Surabaya, 14 September 2018

Penulis

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
<i>ABSTRACT</i> .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Kontribusi .....	3
1.6 Metodologi Penelitian.....	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	7
2.1 Kajian Penelitian Terkait .....	7
2.1.1 <i>Video Games and Realism</i> .....	7
2.1.2 <i>Spreads of Fire On City Site Stochastic Cellular Automaton</i> .....	8
2.2 Teori Dasar .....	12
2.2.1 Matematika Diskrit.....	12
2.2.2 <i>Cellular Automaton</i> .....	13
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Kalkulasi Visual dari Material yang Digunakan.....	22
3.2 Properti sel .....	22
3.3 Skenario Simulasi .....	23
3.3.1 Tata Ruang .....	23
3.3.2 Properti setiap material Sel .....	24
3.4 Multiple State Variables Cellular Automata.....	26
3.4.1 Health Point.....	28
3.4.2 Burning Point .....	28
3.4.3 Properti IsBurned .....	28

3.5	Interaksi antar Sel.....	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		33
4.1	Simulasi dengan <i>test-pattern</i> Sintetis.....	33
4.2	Simulasi pada Pola Selang-seling. ....	35
4.3	Simulasi pada pola zig-zag.....	38
4.4	Simulasi pada Pola Ruang Kelas.....	41
4.5	Simulasi pada 2 Ruang yang Bersebelahan.....	47
4.6	Simulasi pada Arena KRCI.....	49
BAB 5 PENUTUP.....		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Penelitian Selanjutnya.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....		55
LAMPIRAN.....		57



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Model api statis yang dipakai di dalam game tidak dapat menyebar.	1
<b>Gambar 2.1</b> memperlihatkan tingkah laku api yang menyebar.....	8
<b>Gambar 2.2</b> Tiga <i>state</i> yang merepresentasikan kondisi tiap <i>cell</i> .....	9
<b>Gambar 2.3</b> Alur proses penentuan pola penyebaran api.....	10
<b>Gambar 2.4</b> Hasil simulasi kebakaran di desa Wakamatsu-cho.....	11
<b>Gambar 2.5</b> Pemetaan penyebaran api yang terjadi [Kobe City Fire Bureau, 1996].....	12
<b>Gambar 2.6</b> Ilustrasi dari <i>rule 30</i> .....	14
<b>Gambar 2.7</b> Pola yang muncul ketika <i>rule 30</i> digunakan.....	14
<b>Gambar 2.8</b> Aturan 90.....	15
<b>Gambar 2.9</b> <i>Possible neighbours</i> pada <i>cellular automata</i> 2 dimensi.....	15
<b>Gambar 2.10.</b> <i>Cellular Automata</i> tradisional hanya memiliki dua status.....	16
<b>Gambar 2.11.</b> Sel <i>cellular automata</i> dengan <i>multiple state variables</i> .....	17
<b>Gambar 2.12.</b> (kiri) <i>Moore Neighborhood</i> ;(kanan) <i>Von Neumann Neighborhood</i> . .....	18
<b>Gambar 2.13.</b> Ilustrasi <i>Chebyshev Distance</i> .....	19
<b>Gambar 3.1</b> Metodologi Penelitian.....	21
<b>Gambar 3.1</b> Contoh tata ruang kelas.....	23
<b>Gambar 3.2</b> Flowchart <i>Multiple State Variables Cellular Automata</i> .....	27
<b>Gambar 3.3</b> Interaksi antar sel.....	29
<b>Gambar 3.4</b> Interaksi sel terbakar pada sel yang tidak dapat terbakar.....	30
<b>Gambar 4.1.</b> Test Pattern pada $t=0$ .....	33
<b>Gambar 4.2.</b> <i>Test-pattern</i> pada $t=30$ .....	34
<b>Gambar 4.3.</b> Pola penyebaran api pada $t=118$ .....	34
<b>Gambar 4.4.</b> Kondisi awal pola selang-seling ( $t=0$ ).....	35
<b>Gambar 4.5.</b> Kondisi simulasi pada $t=48$ .....	36
<b>Gambar 4.6.</b> Penyebaran api berhenti saat sel kain bertemu dengan sel kayu ....	37
<b>Gambar 4.7.</b> Ilustrasi 3 sel kain gagal membakar sel kayu.....	37
<b>Gambar 4.8.</b> Formasi skenario simulasi zig-zag.....	39
<b>Gambar 4.9.</b> Kondisi simulasi saat $t=120$ .....	40

<b>Gambar 4.10</b>	Dalam formasi L, sel kain dapat membakar sel kayu. ....	40
<b>Gambar 4.11</b>	Situasi ruang simulasi pada $t=0$ .....	41
<b>Gambar 4.12</b>	Pada $t=14$ api sudah merambat ke meja di pojok kanan atas.....	42
<b>Gambar 4.13</b>	$t=100$ Api telah menghabiskan hampir dari separuh ruangan.....	43
<b>Gambar 4.14</b>	Percobaan kedua dengan titik api di bagian atas pada $t=6$ dengan gambar panah menunjukkan titik awal api.....	43
<b>Gambar 4.15</b>	kondisi ruang pada $t=30$ dan $t=80$ .....	44
<b>Gambar 4.16</b>	Titik api yang berawal di bagian kanan area ditunjukkan dengan panah.....	44
<b>Gambar 4.17</b>	Api menyebar melalui celah pada tembok pada $t=130$ . ....	45
<b>Gambar 4.18</b>	Pola penyebaran api pada $t = 5$ ; kanan pola penyebaran api pada $t = 85$ .....	45
<b>Gambar 4.19</b>	Formasi simulasi ruang bersebelahan .....	47
<b>Gambar 4.20</b>	Arena lomba KRCI. ....	50
<b>Gambar 4.21</b>	Arena KRCI beserta titik-titik api yang muncul. ....	50
<b>Gambar 4.22</b>	Kondisi simulasi pada $t=5$ dan $t=45$ pada titik api pertama.....	51
<b>Gambar 4.23</b>	Kondisi simulasi pada $t=5$ dan $t=45$ pada titik api kedua. ....	51
<b>Gambar 4.24</b>	Kondisi simulasi pada $t=5$ dan $t=45$ pada titik api ketiga. ....	52
<b>Gambar 4.25</b>	Kondisi simulasi pada $t=5$ dan $t=45$ pada titik api keempat. ....	52

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Properti sel yang digunakan dalam simulasi.....	24
Tabel 4.1 Perbanding luas penyebaran api pada titik api yang berbeda .....	46
Tabel 4.2 Simulasi yang diuji pada formasi ruang bersebelahan.....	48



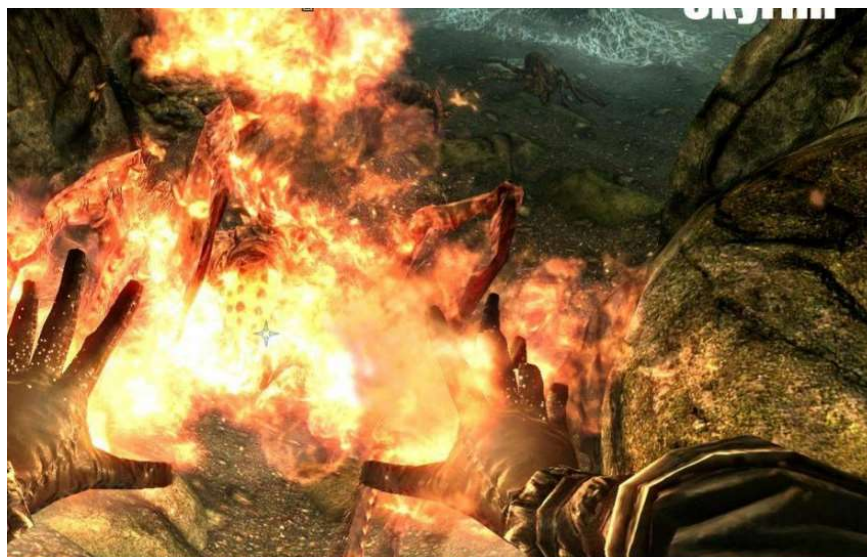
# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Video game dan simulasi hampir seluruhnya mendorong pemain untuk menjelajahi dan berinteraksi dengan lingkungan yang ada di dalam game tersebut. Ilusi untuk membuat dunia buatan di dalam game agar terdapat kesan realistis menuntut sebuah dunia buatan untuk memiliki aturan-aturan alam dan objek yang ada di dunia nyata, contohnya angin, pohon, ranting yang bergerak jika terkena angin, aliran zat cair, dan api. Api memiliki peran penting dalam suatu game karena sifatnya yang dapat membantu atau menghancurkan baik pemain maupun musuh.

Dalam buku *The Art Of Computer Game Design*, mendeskripsikan sebuah *computer game* sebagai “sebuah sistem tertutup yang merepresentasikan subset dari sebuah kenyataan” [1]. Menurut buku tersebut, secara objektif, sebuah game bukanlah sesuatu yang nyata dan tidak dapat menciptakan situasi yang direpresentasikan secara fisik. Fantasi manusialah yang mengubah suatu kondisi yang tidak nyata menjadi secara subjektif, nyata. [2]



**Gambar 1.1** Model api statis yang dipakai di dalam game tidak dapat menyebar.

Realisme dalam sebuah game dapat dicapai dengan banyak cara. Salah satu yang paling tampak dan kognitif adalah kualitas *graphic* pada sebuah game. Hal pertama yang diperhatikan pemain adalah *graphic*, seberapa nyata tampilan grafik pada game tersebut. Persepsi memang merupakan bagian penting dalam membuat *game* tampak realistis. Namun, Merleau-Ponty menolak sebuah pernyataan bahwa sebuah persepsi hanyalah stimulus visual yang pasif. Harus ada aksi yang mendukung persepsi tersebut[3].

Api sering dianggap remeh pada game, padahal seringkali api memegang peranan penting baik dalam jalan cerita maupun *gameplay*. Jika ada api, maka pemain dilarang melintasi tersebut. Meski demikian, model dan simulasi api seringkali ditampilkan apa adanya dan kurang menarik secara visual maupun tingkat realitas dari api tersebut. Api sendiri sebenarnya adalah suatu fenomena alam yang dapat disimulasikan dalam komputer dengan perhitungan-perhitungan yang pasti dan dapat dipecahkan. Dalam game, model api yang baik adalah model yang dapat memberi kesan terbakar, menyala dan menimbulkan kerusakan, tetapi api yang sempurna adalah api yang dapat menyebar apabila terdapat material lainnya yang dapat terbakar.

Penggunaan *cellular automata* dapat menghasilkan suatu pola penyebaran api berdasar material benda yang terbakar, dengan demikian api menjadi suatu objek yang bergerak, dan memiliki alur yang realistis, tidak lagi *random* atau bahkan statis.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Supaya penyebaran api dapat diterima oleh akal manusia, perilaku penyebaran tersebut harus mengikuti hukum alam, yaitu, menjalar ke benda-benda yang dapat terbakar dan laju penyebaran api bergantung kepada material yang terbakar.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian tesis ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat model penyebaran api yang dapat menyebar berdasarkan sifat api yang dapat membakar benda tertentu dengan kecepatan penyebaran yang bervariasi antara material satu dengan yang lain.
2. Menampilkan pola penyebaran api yang cukup simpel untuk disimulasikan di dalam game tetapi cukup untuk memunculkan efek realistis.

#### **1.4 Batasan Penelitian**

Dalam penelitian ini, penyebaran api terjadi di dalam ruangan yang tidak dipengaruhi faktor eksternal seperti adanya angin, kelembapan dan kadar oksigen dalam udara. Bahan bakar api dibagi menjadi 4 macam material yang paling sering dijumpai di dalam ruangan, kayu, plastik, kain, dan tembok atau semen yang tidak bisa terbakar. Luas daerah menyangkup 1 ruangan yang digambarkan sebagai *cell* dengan ukuran 100x100 *cell*. Titik api muncul secara *random* di dalam ruangan.

Setiap bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah material homogeny dan tanpa lapisan cat atau pelapis lainnya. Setiap sel hanya bisa memiliki satu jenis bahan bakar. Ruangan disini adalah sebuah bidang 2 dimensi yang merepresentasikan bentuk dan formasi isi sebuah ruang atau kamar.

#### **1.5 Kontribusi**

Pada penelitian ini, metode *cellular automata* diterapkan untuk memodelkan ruangan yang kemudian dapat menampilkan pola penyebaran api dalam kisaran waktu tertentu. Diharapkan hasil penelitian ini dapat diaplikasikan dalam sebuah game atau simulasi dalam berbagai macam *genre* dan memunculkan kesan realistis tetapi cukup ringan untuk dijalankan di dalam sebuah *game* tanpa terlalu membebani *CPU*. Selain itu, hasil penelitian ini dapat dijadikan pembandingan untuk penelitian yang melibatkan pola penyebaran api lainnya.

#### **1.6 Metodologi Penelitian**

Penulisan buku tesis ini terbagi menjadi 5 bab yaitu Pendahuluan, Kajian Pustaka dan Dasar Teori, Metode Penelitian, Hasil dan Pembahasan, dan

Kesimpulan. Penjelasan singkat mengenai masing-masing bab adalah sebagai berikut:

## **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menguraikan motivasi penelitian, permasalahan yang menjadi landasan untuk melakukan penelitian, perumusan dari topik permasalahan, serta tujuan dan manfaat dari penelitian yang dilakukan. Selain itu, dijelaskan pula metodologi penelitian yang digunakan serta sistematika laporan.

## **BAB II KAJIAN PUSTAKA**

Bab ini terdiri dari Kajian Pustaka yang berisi referensi-referensi dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini meliputi metode, algoritma, dan teknik pemrosesan data serta Dasar Teori yang menjelaskan tentang pemahaman dasar dari penelitian ini meliputi topik yang menjadi permasalahan dan metode yang digunakan.

## **BAB III METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas test-bed yang digunakan untuk penelitian meliputi konseptual model dan desain berorientasi obyek dari test-bed. Implementasi teori-teori pada bab 2 akan dijelaskan pada. Pencapaian penelitian akan dijelaskan lebih mendalam di bab ini.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini menjelaskan mengenai hasil yang diperoleh dari hasil penelitian mulai dari percobaan dengan modifikasi parameter, modifikasi skenario *game*, hingga modifikasi fungsi obyektif disertai dengan pembahasan hasil tersebut.



## **BAB V KESIMPULAN**

Bab ini menjelaskan mengenai kesimpulan yang didapat dari hasil penelitian meliputi parameter, formula, dan hasil. Bab ini juga diberikan sub bab saran yang berisi hal-hal yang bisa dikembangkan untuk melanjutkan penelitian ini.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

Penelitian ini dilakukan karena suatu permasalahan pada *game* yang umumnya jika *player* memunculkan suatu titik api, baik berasal dari interaksi *player* dengan *environment* atau *player* memunculkan titik api. Agar penelitian ini lebih terarah, diberikan kajian pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan simulasi penyebaran api.

Penyebaran api sendiri merupakan unsur penting dalam menambahkan unsur realitas pada sebuah *game*. Pada umumnya orang berpikir bahwa tampilan grafik yang lebih baik berhubung lurus dengan realitas *game* yang berhubungan langsung dengan bagus tidaknya *game* tersebut. Agar sebuah *game* menjadi menarik dan dapat dinikmati *graphic* yang bagus bukanlah sebuah acuan utama.

#### **2.1 Kajian Penelitian Terkait**

##### **2.1.1 *Video Games and Realism***

Menurut Galloway (2004) : “Dalam penelitian selama ini percakapan tentang tingkat realistis dalam *game* terbatas terutama pembicaraan dalam lingkup kekerasan yang dapat menyebabkan efek yang merusak pada pemain.”[8]

Sedangkan banyak cara lain agar sebuah *game* dapat dinikmati oleh pemain tanpa menampilkan unsur kekerasan yang berlebihan. Salah satu teori untuk memunculkan koneksi antar permainan dengan dunia nyata dalam lingkup sebab dan akibat adalah bagaimana pemain dapat berinteraksi dengan lingkungan dan berpikir bahwa hal yang akan terjadi di dunia nyata apabila pemain melakukan sesuatu dalam sebuah *game*. Hal ini penting karena sebuah permainan tidak hanya ditonton, tetapi juga dimainkan. Representasi visual sendiri tidaklah cukup untuk menimbulkan efek realistis.

Game adalah suatu medium aktif yang membutuhkan masukan fisik secara konstan oleh seorang pemain: aksi, perilaku, menekan tombol, mengendalikan, dan lain-lain(Aarseth,1997). Karenanya sebuah game haruslah realistis dalam memproses aksi tersebut.Dikarenakan unsur utama unsur realistis dalam sebuah game adalah akibat dari aksi yang dilakukan pemain (berbeda dengan melihat, seperti dalam melihat sebuah film seperti yang dideskripsikan Jameson sebagai “daya tarik yang tanpa daya”), hal ini mengakibatkan sebuah game dan pemainnya memiliki sebuah ikatan intim dengan perlengkapan yang kita sebut dengan game. Seperti pada Gambar 2.1, api dapat menghidupkan suasana yang sebelumnya damai. Sebuah pemain secara signifikan adalah seorang yang jauh lebih dekat daripada sebuah penonton.



**Gambar 2.1** memperlihatkan tingkah laku api yang menyebar.

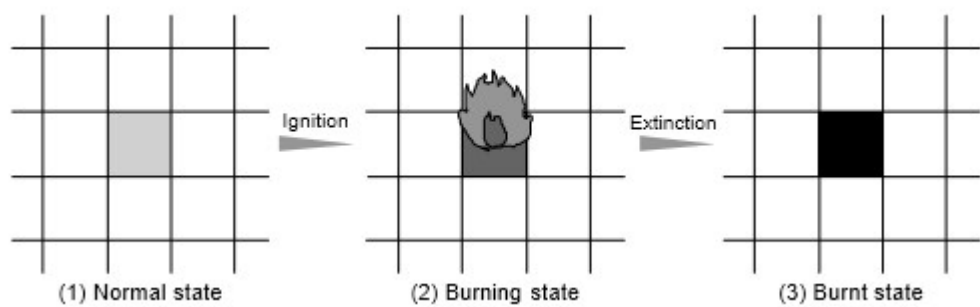
### **2.1.2 *Spreads of Fire On City Site Stochastic Cellular Automaton***

Atsushi Takizawa, Atsushi Yamada, Hiroshi Kawamura dan Akinori Tani memodelkan suatu simulasi penyebaran api menggunakan *Stochastic Cellular Automata*. Dalam penelitiannya mereka memodelkan daerah Wakamatsu-cho di dalam Kota Kobe. Di penelitian ini ada perbandingan antara simulasi dengan menggunakan *Cellular Automata (CA)* dan metode yang disebut metode Hamada. Dalam jurnal ini disebutkan bahwa metode Hamada melibatkan perhitungan yang kompleks dan memakan waktu lama untuk membuat model simulasi kota, dibandingkan dengan CA dimana kalkulasi CA lebih simpel dan waktu yang dibutuhkan untuk membuat simulasi menjadi lebih cepat [4].

Bagian dari sebuah wilayah, dalam kasus ini sebuah desa terdiri dari bangunan, jalan, taman, dan lainnya. Elemen-elemen ini masing-masing memiliki ukuran, bentuk, dan fungsi yang berbeda. Dalam penelitian ini sebuah kota dimodelkan menjadi bidang 2 dimensi dimana setiap sel merepresentasikan area seluas 5 meter persegi. Elemen yang digunakan pada simulasi ini adalah sebagai berikut:

1. *Cell* kayu: dianggap sebagai rumah yang terbuat dari kayu
2. *Cell* tahan api: bangunan yang tidak dapat terbakar/terbuat dari semen
3. *Cell* jalan: bagian dari jalan
4. *Cell* kosong: tidak berisi apapun, kosong.

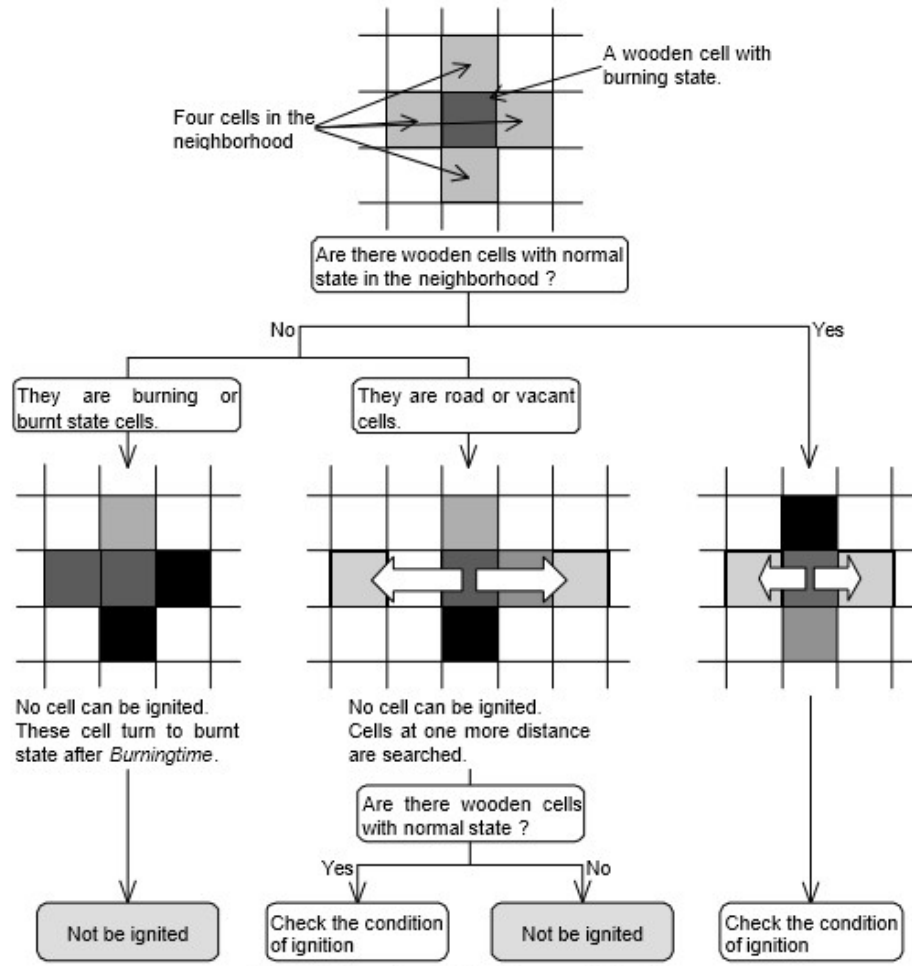
Alur munculnya api memiliki urutan seperti berikut. Suatu titik api hanya dapat menyebar ke titik yang bersebelahan, setelah beberapa waktu, jarak penjalaran api secara bertahap menjadi semakin besar. Tahap ini disebut '*initial fire*'. Kemudian saat api menjadi ganas karena jarak penjalaran yang besar, yang terjadi karena '*flashover*', tahap ini disebut '*fire peak*'. Untuk menyederhanakan perhitungan, kedua tahap disamakan menjadi satu. Pada akhirnya, tiga kondisi digunakan untuk merepresentasikan kondisi sel. Jika sebuah sel yang kondisinya normal tersulut api, maka kondisinya berubah menjadi terbakar. Kondisi terbakar merepresentasikan sebuah rumah kayu yang terbakar dan memiliki kemampuan untuk menyebarkan api.



**Gambar 2.2** Tiga *state* yang merepresentasikan kondisi tiap *cell*.

Untuk menentukan apakah *cell* yang berada tepat di sebelah *cell* yang sedang terbakar akan terjalari api. Alur proses sel tersulut api hingga api padam dapat dilihat di Gambar 2.2, dimulai dengan titik api yang kemudian akan mencari kondisi keempat *cell* yang terletak tepat di sebelah *cell* yang terbakar. Karena pengaruh arah

angin tidak diperhitungkan, api dapat menyebar secara merata ke keempat arah. Alur penyebaran api dan kondisi dimana api tidak dapat menyebar ditentukan oleh beberapa kondisi pada Gambar 2.3



**Gambar 2.3** Alur proses penentuan pola penyebaran api.

Kondisi munculnya api dijelaskan pada persamaan (2.1). Kondisi ini diperhitungkan ke keempat *cell* dengan syarat *cell* tersebut kondisinya normal. Jika semua kondisi terpenuhi, *cell* normal berubah menjadi terbakar.

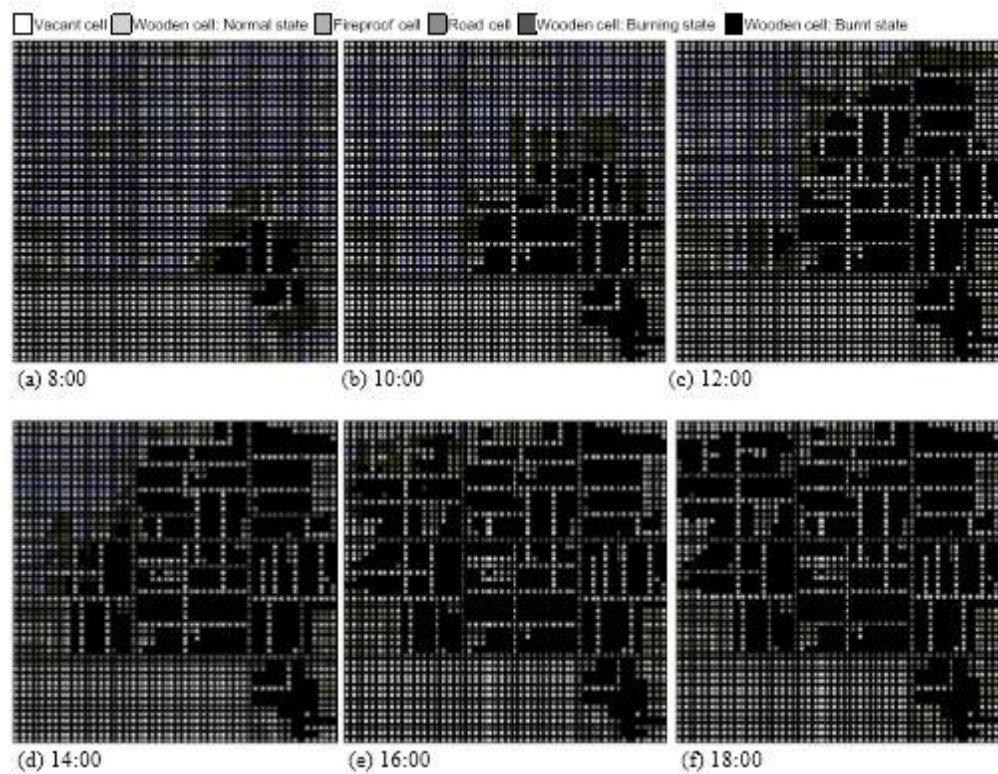
$$\text{Propability} \geq \text{Random} \times \text{DisFactor}(d) \quad (2.1)$$

Dimana:

Probability : tingkat kemungkinan *cell* kayu terbakar (0.0 ~ 1.0)

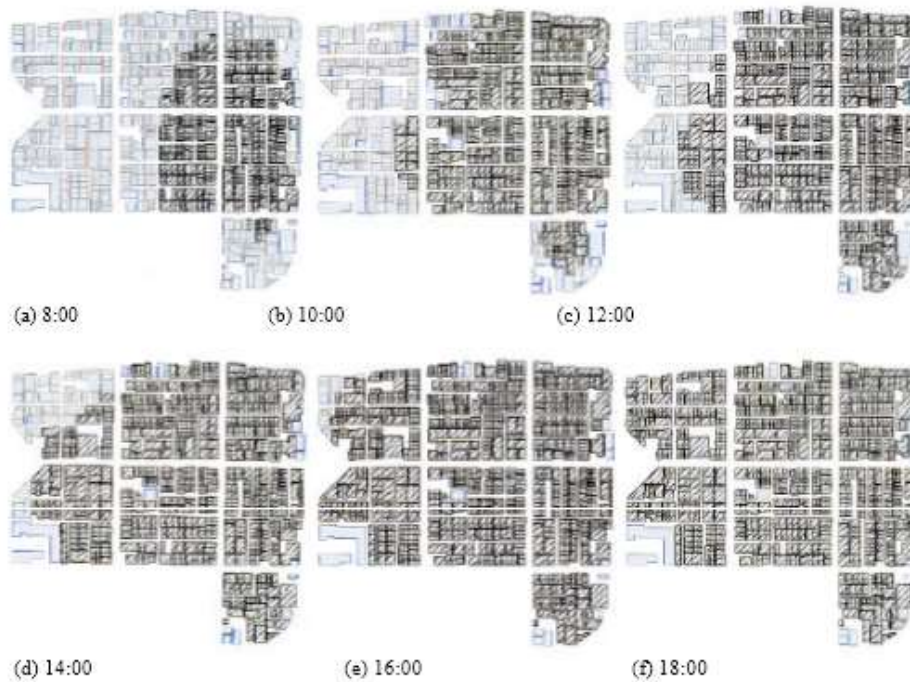
Random : Angka *random* (0.0 ~ 1.0)

DisFactor(d) : tahapan berkurangnya kemungkinan api akan menjalar berdasarkan jarak (d). Nilai 'd' bernilai 1 apabila *cell* tepat bersebelahan, atau 2 bila loncat 1 *cell*.



**Gambar 2.4** Hasil simulasi kebakaran di desa Wakamatsu-cho

Simulasi dibuat menyerupai daerah Wakamatsu-cho, dibagi menjadi area berukuran 50x50 dengan *probability* 0.01m dengan perhitungan *timestep* dimana setiap 1 jam ada 225 *timestep*. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 2.4 dibandingkan dengan pola kebakaran nyata di Gambar 2.5. Kebakaran terjadi pada pukul 5:47 waktu setempat dan padam total pada 18:00, bila diubah ke *timestep*, maka total *timestep* adalah 2756.



**Gambar 2.5** Pemetaan penyebaran api yang terjadi [Kobe City Fire Bureau, 1996]

Jika dibandingkan antara kejadian nyata, penyebaran api pada pukul 08:00 dan 12:00, penyebaran api dalam simulasi jauh lebih lambat daripada yang terjadi di kenyataan. Ketidakcocokan ini terjadi karena faktor external yaitu angin yang berhembus dari selatan ke utara dan adanya kebocoran saluran gas [Kobe City Fire Bureau, 1996]. Tetapi di arah penyebaran timur laut kurang lebih hasil simulasi persis dengan pola penyebaran api nyata.

## 2.2 Teori Dasar

Dasar teori merupakan semua teori yang dipilih berdasarkan kajian pustaka yang melatarbelakangi permasalahan penelitian tesis yang dilakukan.

### 2.2.1 Matematika Diskrit

Dalam dunia nyata, semua benda apapun memiliki laju yang kontinu, tidak terputus. Dalam artian waktu berjalan dengan “mulus”. Sedangkan dalam matematika diskrit, segala objek yang dipelajari, seperti *integer*, grafik dan pernyataan logika tidak bervariasi secara mulus, melainkan memiliki nilai yang pasti, dan terpisah dengan jelas [8].



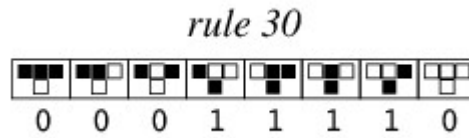
Dalam *cellular automata*, matematika diskrit digunakan pada unit waktu yang berupa  $t = 1, 2, 3, 4, \dots$  sampai batas waktu yang ditentukan, dan pada tiap pergantian waktu terjadi perhitungan matematis yang dilakukan. Tetapi, diantara selang waktu  $t = 1$  dan  $t = 2$  merupakan suatu hal yang tidak dapat diamati dalam matematika diskrit.

### 2.2.2 *Cellular Automaton*

*Cellular Automata* atau bentuk tunggalnya *Cellular Automaton*, disingkat CA adalah sekumpulan sel yang berinteraksi satu sama lain terorganisir dalam suatu ruang dalam sebuah *grid*, dimana tiap *cell* memiliki berbagai kondisi yang terbatas. Dalam setiap waktu diskrit, tiap sel melakukan perubahan kondisi berdasarkan aturan perubahan yang telah ditetapkan[5]. Aturan transisi ini akan melakukan pengecekan kondisi dari semua sel yang bersebelahan, dan menentukan status atau kondisi dari sel itu sendiri.

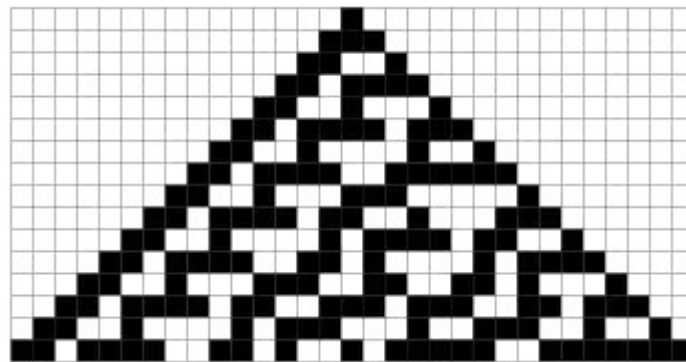
Bentuk paling dasar dari *cellular automata* disebut *elementary cellular automaton*, yaitu sebuah sistem *cellular automata* yang hanya memiliki satu dimensi, dimana setiap sel hanya boleh memiliki satu dari dua status yang mungkin (diberi label 1 dan 0) dan aturan yang digunakan untuk menentukan status sel di generasi berikutnya bergantung pada status sel sekarang dan dua sel tetangga yang berada di sebelah kanan dan kirinya. Karena setiap sel memiliki 2 macam *state* yang bisa terjadi dan ada 3 sel yang saling mempengaruhi, maka ada  $2 \times 2 \times 2 = 2^3 = 8$  kondisi biner yang bisa terjadi dalam 3 sel yang saling berhimpitan. Totalnya ada  $2^8 = 256$  *elementary cellular automata* yang bisa diindekskan menjadi bilangan biner 8 bit[9][10]. Jika mengambil salah satu dari 256 *rule* dari *cellular automata* maka akan terbentuk suatu pola.

Sebagai contoh, beberapa *rules* yang menghasilkan pola yang menarik untuk diperhatikan adalah *rule 30*.



**Gambar 2.6** Ilustrasi dari *rule 30*.

Pada Gambar 2.6, baris atas merupakan ilustrasi *state* dari sebuah *elementary cellular automaton* yaitu terdiri dari 3 sel yang memiliki *state* antara 0 atau 1. *State* 1 dinyatakan dengan sel hitam. Nama *rule 30* sendiri diambil dari kondisi dimana akan menghasilkan sel bernilai 1 jika sel disusun secara biner. Jika aturan ini dipakai, maka akan menghasilkan pola seperti pada Gambar 2.7.

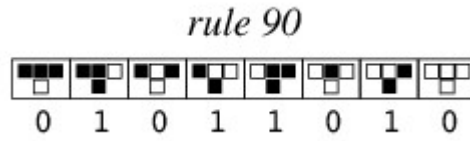


**Gambar 2.7** Pola yang muncul ketika *rule 30* digunakan.

Aturan lain yang menarik untuk diamati dan membuktikan bahwa model matematis sederhana dalam *elementary cellular automaton* dapat menghasilkan bermacam-macam pola. Contoh lain adalah *rule 90* seperti pada Gambar 2.8.

### 2.2.2.1 Two Dimensional Cellular Automaton

*Cellular Automata* adalah sebuah model matematis dari sebuah sistem dimana banyak komponen simpel yang saling bereaksi terhadap satu sama lain sehingga menghasilkan pola dan perilaku kompleks. Dalam bagian ini akan dijelaskan bagaimana perilaku *2 dimensional cellular automata*. Dengan adanya dimensi tambahan maka *cellular* dapat langsung dibandingkan dengan banyak hasil eksperimen lainnya, termasuk pertumbuhan kristal dendrit[12].

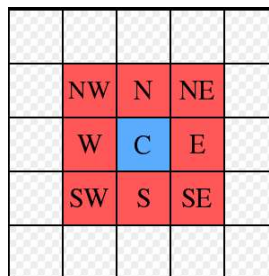


**Gambar 2.8** Aturan 90

Sebuah model *cellular automaton* memiliki sekumpulan sel yang tertata rapi. Setiap sel dapat memiliki nilai  $k$  yang mungkin dimiliki, dan diupdate dalam setiap jangka waktu diskrit berdasarkan aturan  $\phi$  dan nilai dari setiap sel bergantung kepada sel disekelilingnya. Jika  $a_i$  adalah sebuah sel di posisi  $i$ , dalam *cellular automata* satu dimensi dengan aturan yang hanya bergantung pada sel disekelilingnya, maka nilai  $a_i$  dapat dijabarkan dengan

$$a_i^{(t+1)} = \phi[a_{i-1}^{(t)}, a_i^{(t)}, a_{i+1}^{(t)}] \tag{2.1}$$

Dalam *cellular automata* 2 dimensi, ada banyak struktur kisi dan ketetanggaan yaitu seperti digambarkan pada Gambar 2.9 (dalam 1 dimensi hanya ada tetangga sebelah kanan dan kiri)



**Gambar 2.9** Possible neighbours pada *cellular automata* 2 dimensi.

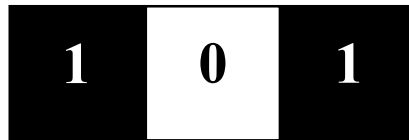
Diibaratkan sebagai arah mata angin dengan  $C$  sebagai sel pusat yang melakukan *update*, maka ada 8 sel yang diperhitungkan untuk menentukan *state* dari sel  $C$  adalah sel bertanda N,E,S,W,NW,NE,SE,SW.

Untuk menentukan kondisi dari sel inti atau diibaratkan sel  $C$  maka dapat dijabarkan dengan persamaan (2.2)

$$a_{i,j}^{(t+1)} = \Phi[a_{i-1,j-1}^{(t)}, a_{i,j-1}^{(t)}, a_{i+1,j-1}^{(t)}, a_{i-1,j}^{(t)}, a_{i,j}^{(t)}, a_{i+1,j}^{(t)}, a_{i-1,j+1}^{(t)}, a_{i,j+1}^{(t)}, a_{i+1,j+1}^{(t)}] \quad (2.2)$$

### 2.2.2.2 Multiple State Variables Cellular Automaton

Bentuk paling dasar dari *Cellular Automata* adalah sebuah bidang 2 dimensi yang didalamnya dipenuhi dengan sel yang berbentuk persegi, setiap sel memiliki bentuk dan ukuran yang sama dan setiap sel memiliki kondisi (*state*). Kondisi tersebut dalam bentuk sederhana dapat berupa bilangan biner 1 atau 0 seperti pada Gambar 2.10, atau kondisi lain yang ditentukan.



**Gambar 2.10.** *Cellular Automata* tradisional hanya memiliki dua status.

Dalam perkembangannya, setiap sel dapat memiliki lebih dari satu kondisi, misal dalam kasus *Spreads of Fire On City Site Stochastic Cellular Automaton* (Atsushi, Aizawa. 2000), setiap sel dapat memiliki atribut material yang berupa kayu yang dapat terbakar, atau batu/jalan pemisah yang tidak dapat terbakar. Setiap sel juga memiliki kondisi terbakar, habis terbakar, dapat terbakar dan tidak dapat terbakar.

Untuk mengatasi keterbatasan kondisi, sel dalam *cellular automata* dapat menyimpan lebih dari satu variabel. Sesuai dengan kebutuhan, dengan menambahkan variabel, maka sistem akan menjadi lebih granular. Sistem *Cellular Automata* menjadi lebih fleksibel apabila setiap sel memiliki lebih dari satu kondisi. Semakin banyak kondisi yang dimiliki oleh setiap sel maka akan sistem akan menjadi semakin kompleks. Inilah salah satu kelebihan *Cellular Automata*, sistem dapat dibuat sederhana sampai sangat kompleks.

<p><i>HP = 0</i></p> <p><i>BP = 18</i></p> <p><i>Ignited = Yes</i></p>	<p><i>HP = 85</i></p> <p><i>BP = 20</i></p> <p><i>Ignited = No</i></p>	<p><i>HP = 20</i></p> <p><i>BP = 5</i></p> <p><i>Ignited = No</i></p>
<p><i>HP = 0</i></p> <p><i>BP = 0</i></p> <p><i>Ignited = No</i></p>	<p><i>HP = 0</i></p> <p><i>BP = 0</i></p> <p><i>Ignited = No</i></p>	

**Gambar 2.11.** Sel *cellular automata* dengan *multiple state variables*.

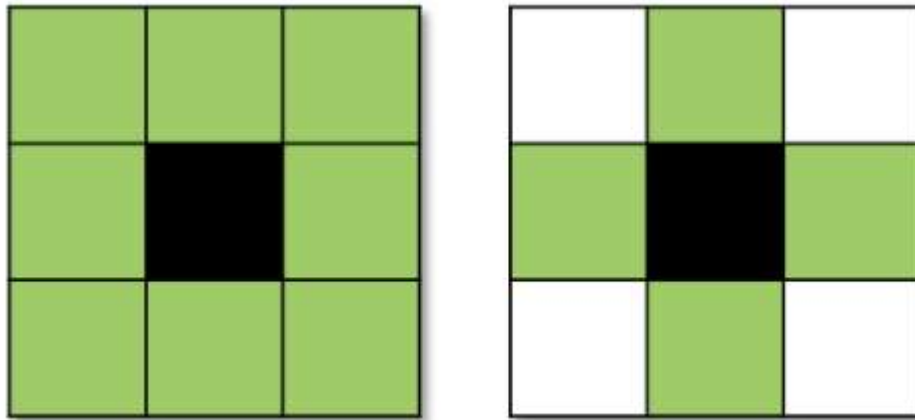
Dalam *multiple state variables cellular automaton*, satu sel memiliki lebih dari satu variabel yang akan diperhitungkan untuk menentukan kondisi sel dalam iterasi waktu selanjutnya. Gambar 2.11 mengilustrasikan dimana setiap sel memiliki properti yang berbeda-beda, dengan warna kuning adalah sel kayu, hijau adalah sel plastik dan biru adalah sel kain. Selain material, setiap sel memiliki properti HP, BP, dan Status Ignited. Dengan demikian, semakin banyak informasi yang terkandung dalam satu sel, maka simulasi relatif lebih akurat.

### 2.2.2.3 Asynchronous Cellular Automaton

Pada umumnya, perubahan *state* pada semua *cell* pada sebuah sistem *cellular automaton* dilakukan bersama-sama (*synchronous*). Kondisi semua *cell* berubah sebelum dapat mempengaruhi *cell* yang berada di sebelahnya. Sedangkan, *asynchronous cellular automaton* dapat mempengaruhi kondisi sel tanpa harus menunggu sel lain untuk terupdate dan dapat memasukkan elemen stokastik[8]. Dalam sistem ini, berbeda dengan sistem *synchronous sellular automaton*, di dalam sistem *asynchronous* setiap sel bertindak secara individu, penulis menganggap sistem ini lebih tepat untuk merepresentasikan kondisi di dunia nyata.

#### 2.2.2.4 Neighborhood Rules

Disebut *neighborhood* (Ketetanggaan) karena sifatnya yang berdekatan dan mempengaruhi satu sama lain. *Cellular Automaton* menggunakan *kernel* yang fungsinya menentukan pola akses dari sel yang berinteraksi dengan sel lain. Pada umumnya ada 2 jenis *neighborhood rules* yang paling sering digunakan[7], yaitu *Moore neighborhood* dan *Von Neumann neighborhood*. Perbedaan antara keduanya adalah *Moore* menganggap sel yang posisinya diagonal relatif terhadap sel inti masih merupakan sel yang bersebelahan. Berbeda dengan *Von Neumann*, pada sistem ketetanggaan Von Neumann, hanya sel yang bersebelahan secara langsung yang dianggap sel yang bersebelahan.



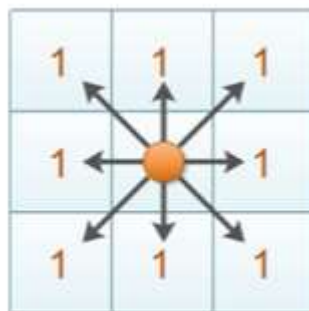
**Gambar 2.12.** (kiri) *Moore Neighborhood*; (kanan) *Von Neumann Neighborhood*.

Dari Gambar 2.12, persegi berwarna hitam adalah sel inti dan persegi berwarna hijau adalah sel yang bertetanggaan dengan sel inti. Dalam *Cellular Automata*, sel yang berwarna hitam hanya dapat mempengaruhi sel yang berwarna hijau.

$$PQ = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad \dots (2.3)$$

Von Neumann menganggap sel yang bertetangga dengan inti adalah sel yang memiliki jarak cartesian bernilai 1. sel yang terletak secara diagonal dari sel inti bukan merupakan tetangga dari sel inti, karena hanya jika dihitung menurut jarak cartesian, jaraknya lebih dari 1. Seperti pada persamaan 2.3, jika sel inti dianggap sebagai posisi  $(0,0)$ , maka jarak cartesian untuk sel yang berada tepat diatas, dibawah dan disamping adalah 1. Sedangkan jarak yang lokasinya diagonal dengan sel inti, memiliki jarak cartesian lebih dari 1 tidak memiliki hubungan ketetanggan dengan sel inti.

*Moore Neighborhood* digunakan karena sifatnya yang sesuai dengan pola interaksi api, yaitu semua sel disekeliling titik api akan mengalami perubahan *state*. Dalam *Moore Neighborhood* maupun *Von Neumann Neighborhood* ada 2 objek yang berperan, yaitu sel inti yang direpresentasikan oleh warna hitam pada Gambar 2.12 dan sel sekeliling yang direpresentasikan berwarna hijau pada Gambar 2.12 dimana sel sekeliling tersebut berperan dalam menentukan state dari sel-sel yang bersangkutan. *Moore Neighborhood* Menganggap semua sel yang memiliki nilai *Chebyshev Distance* 1 merupakan sel yang bertetangga. *Chebyshev Distance* sendiri dapat dihitung dengan menggunakan persamaan.



**Gambar 2.13.** Ilustrasi *Chebyshev Distance*.

$$d = \max(|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|) \dots (2.4)$$

Berbeda dengan Von Neumann, Moore menganggap sel yang lokasinya diagonal dengan sel inti masih memiliki hubungan ketetanggaan dengan sel inti. Artinya sel inti dapat mempengaruhi kondisi sel di segala penjuru dari sel inti. Sifat ketetanggaan Von Neumann ini lebih tepat untuk merepresentasikan penyebaran api dimana api menyebar seperti lingkaran yang luasnya terus bertambah.

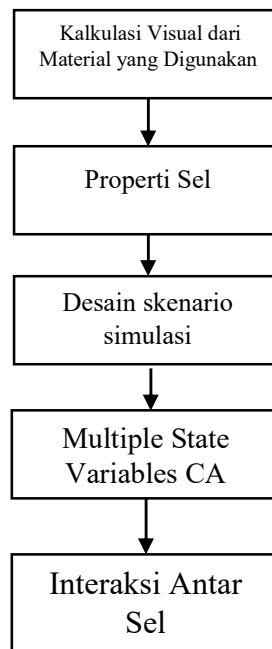


## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Sifat penyebaran api secara sederhana adalah tanpa ada faktor eksternal, selagi ada material yang dapat tersulut api maka api tidak akan padam sampai semua material habis terbakar. Api hanya dapat menyebar ke titik yang berada tepat di sebelah api yang membara. Semua titik api memiliki kecepatan penyebaran sendiri antara satu dengan yang lainnya (*unsynchronized*). Dengan demikian *Cellular Automata* adalah metode yang cocok untuk memodelkan perilaku penyebaran api karena sifat sel dari *Cellular Automata* hanya dapat mempengaruhi sel yang bersebelahan.

Bab ini bertujuan untuk menjelaskan tahapan yang dilalui pada penelitian untuk mencapai tujuan tersebut. Hasil dari penelitian ini akan diuji coba pada simulasi Matlab yang dapat menampilkan pola penyebaran api dalam bentuk ruang yang berbeda-beda.



**Gambar 3.1** Metodologi Penelitian

### 3.1 Kalkulasi Visual dari Material yang Digunakan

Untuk menentukan properti dari setiap material yang digunakan, pengamatan visual digunakan sebagai acuan dalam menentukan properti sel yang nantinya akan digunakan dalam simulasi. Terdapat 4 macam material yang digunakan sebagai acuan, yaitu: (1) Untuk material kayu, bahan yang digunakan sebagai pembanding adalah kayu furnitur multiplex(tripleks). (2) Untuk material plastik, acuannya adalah plastik *polyethylene(PE)* yang dijumpai pada alat tulis kantor dan pembungkus makanan. (3) Material kain menggunakan karpet sebagai acuan.

Dari hasil pengamatan visual, saat sumber api muncul, material yang terjalar api paling cepat adalah kain, diikuti dengan plastik, dan api membutuhkan waktu lebih lama untuk merambat ke kayu. Aturan ini dijadikan sebagai dasar dari penentuan properti sel yang digunakan dalam simulasi. Dimana aturan dasar yang terbentuk dari pengamatan visual:

- 1) Kain merupakan material yang paling mudah terbakar dibandingkan material lainnya.
- 2) Satu lembar kain tidak cukup untuk memulai pembakaran sel kayu
- 3) Material kayu membutuhkan waktu lama untuk terbakar tetapi api yang muncul bertahan paling lama daripada material lainnya.
- 4) Plastik memiliki properti yang berada bernilai diantara kain dan kayu.

### 3.2 Properti sel

*Test-bed* yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah grafik yang dihasilkan dari MATLAB yang merupakan representasi sebuah ruang yang dibagi menjadi *cell* berukuran 100\*100. *Test-bed* dibutuhkan untuk melakukan percobaan sehingga pendekatan yang dikembangkan dapat dievaluasi. Sub-bab ini memberikan detail bagaimana simulasi dibuat. Dalam simulasi, sebuah ruang dalam

suatu gedung digambarkan dengan proyeksi 2 dimensi yang dilihat dari atas, tegak lurus dengan bidang.

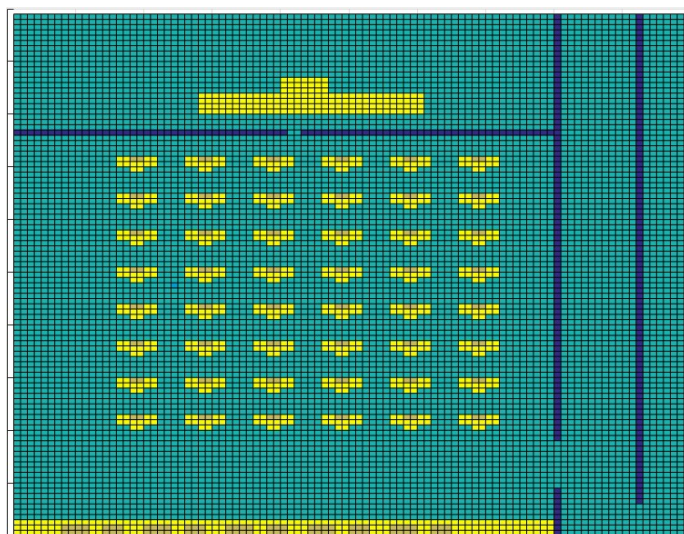
### 3.3 Skenario Simulasi

Persebaran api terhadap suatu benda dipengaruhi oleh bahan yang membentuk benda tersebut dan jarak benda tersebut dari titik api. Untuk meniru sifat api, penulis menggunakan konsep *Health Point(HP)* dan *Burning Point(BP)*. Setiap *step* dalam simulasi akan dilakukan pengecekan *state* pada semua sel, jika ada sel yang memiliki  $HP = 0$  dan  $BP > 0$  maka sel tersebut dinyatakan terbakar dan api akan menyebar dari sel tersebut.

Karena tiap material yang terbakar memiliki sifat yang berbeda terhadap interaksi api, seperti kayu akan lebih sulit terbakar daripada kertas, tetapi api pada kayu akan menyala lebih lama daripada kertas. Maka material dikelompokkan menjadi 3 jenis bahan yang sering dijumpai dalam gedung, yaitu: Kayu, Plastik, dan Kain. Penulis menyimpulkan bahwa 3 material ini cukup untuk merepresentasikan sebagian besar objek yang ada di dalam suatu ruang gedung.

#### 3.3.1 Tata Ruang

Dalam pengujian simulasi, tata ruang diibaratkan sebuah ruang yang memiliki meja terbuat dari kayu, objek plastik diatas meja, dan kain.



**Gambar 3.1** Contoh tata ruang kelas.



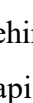
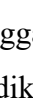
Tata ruang sintetis digunakan untuk membuat data kontrol dan mengamati interaksi antar sel dan mencocokkan dengan interaksi yang diharapkan. Skenario tata ruang untuk data kontrol berupa ruangan dengan 3 daerah yang berisi material yang homogen, tata ruang dengan pola selang-seling, dan tata ruang zig-zag.

Selain material yang bisa terbakar, terdapat material yang bersifat tidak bisa terbakar sehingga api yang menjalar tidak bisa melewati sel tersebut dan harus menyebar mengelilingi sel yang tidak terbakar. Salah satu contoh tata ruang yang akan diujicobakan adalah ruang kelas seperti pada Gambar 3.1.

### 3.3.2 Properti setiap material Sel

Tiap material memiliki properti yang berbeda, properti ini mempengaruhi *state* dari sel yang bersangkutan. Dapat dilihat pada Gambar 3.1, warna material yang digunakan dalam simulasi ini dibedakan menjadi 4 jenis material yaitu seperti dijabarkan pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Properti sel yang digunakan dalam simulasi

Material	HP	BP	Warna
Kayu	100	30	
Plastik	60	15	
Kain	20	5	
Tidak Terbakar	-50	0	

#### 3.3.2.1 Kayu

Material kayu memiliki *HP* sebesar 100 sehingga dalam simulasi ini, merupakan material yang paling sulit untuk tersulut api dikarenakan nilai *HP* yang tinggi. Penulis menganggap sel kayu yang direpresentasikan disini adalah kayu *plywood* atau kayu lapis/triplek yang biasa digunakan untuk meja dan furnitur kantor.

Beberapa aturan dasar sel kayu yang terjadi di dunia nyata:

1. Sel kayu merupakan sel yang paling sulit terbakar, namun jika terbakar akan menimbulkan api yang paling lama padam.
2. Satu sel kayu dapat membakar sel apapun disekelilingnya termasuk sel kayu itu sendiri.

3. Sel kayu memiliki kecepatan perambatan paling lama dibanding sel lainnya.

#### *3.3.2.2 Plastik*

Plastik memiliki HP sebesar 60, sehingga akan membutuhkan waktu lebih cepat daripada kayu untuk terbakar, tapi lebih lama daripada kain. Plastik lebih cepat terbakar daripada kayu dan api akan padam lebih cepat daripada kayu. Plastik yang direpresentasikan disini adalah plastik yang digunakan untuk perangkat alat tulis kantor dan bagian luar dari perangkat elektronik.

Beberapa aturan dasar menurut pengamatan yang terjadi di dunia nyata :

1. Sel plastik lebih cepat terbakar daripada sel kayu namun lebih lambat terbakar daripada sel kain.
2. Jika terbakar, api pada sel plastik akan lebih cepat padam daripada sel kayu namun lebih lambat daripada sel kain.
3. Satu sel plastik dapat membakar sel kain, namun diperlukan minimal 2 sel plastik di sekeliling sel kayu untuk dapat membakar sel kayu.

#### *3.3.2.3 Kain*

Dari semua material, kain merupakan material yang paling cepat tersulut api tetapi juga yang paling cepat padam. Material kain yang mengumpul akan sangat cepat terbakar dan membakar sel di sekelilingnya. Kain yang direpresentasikan disini adalah kain berupa karpet yang digunakan untuk ruangan, maupun kain tekstil.

Adapun beberapa aturan dasar untuk sel kain menurut pengamatan yang terjadi di dunia nyata.

1. Sel kain harus terbakar lebih cepat daripada sel kayu dan sel plastik
2. Jika tersulut api, sel kain harus padam lebih cepat daripada sel kayu dan plastik.
3. Satu sel kain tidak dapat membakar satu sel kayu dikarenakan api yang muncul di sel kain cepat padam.
4. Sel kain dapat membakar sel kain lainnya dengan cepat dan menyebabkan penyebaran api berjalan sangat cepat.

#### 3.3.2.4 Benda Tidak Terbakar

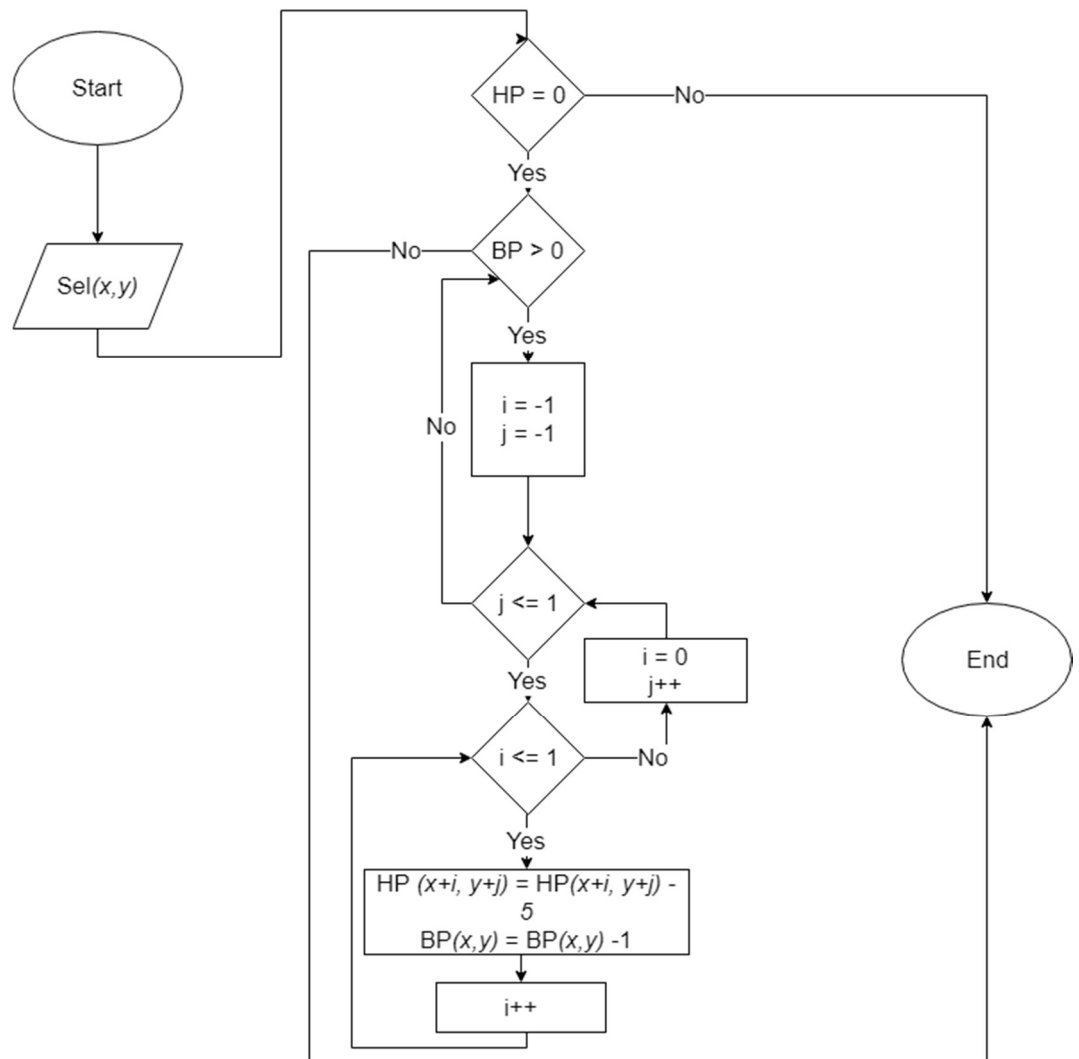
Material lain yang tidak terbakar, seperti lantai keramik dan dinding batu memiliki HP -50. Material ini tidak memiliki BP sehingga pengecekan kondisi terbakar akan memutuskan bahwa sel ini tidak bisa mempengaruhi HP dari sel lainnya.

Sel yang telah habis terbakar akan berwarna biru muda untuk membedakan antara sel yang tidak terbakar dengan sel yang habis terbakar. Dengan perbedaan warna, seiring dengan jalannya simulasi akan terlihat pola penyebaran api, dan kondisi ruangan sebelum dan sesudah simulasi dijalankan.

### 3.4 Multiple State Variables Cellular Automata

Pada sistem Multiple State Variables Cellular Automata, setiap sel memiliki properti yang lebih dari satu. Semakin banyak properti yang dimiliki oleh suatu sel, maka sistem yang dibangun menjadi lebih kompleks. Sistem yang kompleks memiliki keuntungan berupa data yang dihasilkan relatif lebih akurat dengan perhitungan yang semakin banyak.

Dalam penelitian ini, setiap sel dalam Cellular Automata memiliki 3 properti, yaitu HP, BP, dan IsBurned. Setiap properti memiliki pengaruh terhadap interaksi antar sel. Algoritma *Multiple State Variables Cellular Automata* dapat diamati pada gambar 3.2 yang menampilkan alur proses awal titik api hingga langkah yang dilakukan agar api dapat menyebar ke sel lain. Dalam penelitian ini, titik api diawali dengan cara menentukan posisi titik api dengan cara menentukan HP dari salah satu cell menjadi bernilai 0. Dengan nilai  $HP=0$  dan  $BP>0$  maka sel tersebut akan mengurangi HP dari sel di sekelilingnya. Dengan begitu api yang dari awalnya hanya menyala di satu titik, akan menyebar ke segala arah seperti lingkaran yang meluas.



**Gambar 3.2** Flowchart *Multiple State Variables Cellular Automata*.

Flowchart pada gambar 3.2 berlaku untuk semua sel yang ada dalam simulasi, pada setiap iterasi waktu, status pada setiap sel akan diperiksa, apabila ada HP dari suatu sel yang memiliki nilai 0, maka langkah berikutnya adalah mengambil nilai BP sebanyak satu poin. Apabila nilai BP masih lebih dari 0 maka dilakukan perulangan untuk mendeduksi nilai HP dari sel disekeliling sel tersebut diikuti dengan pengurangan nilai BP dari sel yang memiliki HP . Proses ini akan terus berulang selama ada sel yang memiliki HP=0 dan BP>0. Jika suatu sel memiliki HP=0 namun memiliki nilai BP<=0 maka bahan bakar di sel tersebut habis dan api dinyatakan telah padam.

### 3.4.1 Health Point

Health Point(HP) merupakan tingkat integritas dari suatu sel. Nilai HP mempengaruhi waktu yang dibutuhkan api untuk membakar suatu sel. Semakin besar nilai HP maka waktu yang dibutuhkan semakin lama. Dalam setiap iterasi waktu, jika ada satu sel yang terbakar, maka nilai HP dari sel disekelilingnya akan berkurang sebanyak 5 poin, dan aturan ini berlaku untuk setiap sel, dengan artian satu sel dapat dikelilingi oleh api yang akan menyebabkan sel tersebut terbakar lebih cepat.

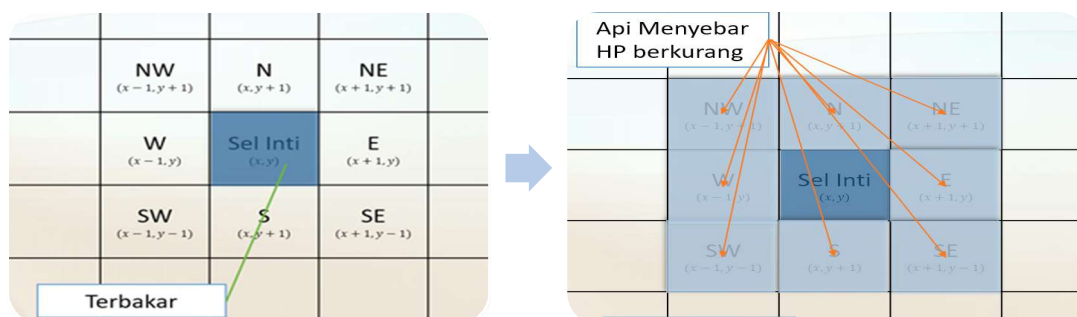
### 3.4.2 Burning Point

Burning Point (BP) merupakan tingkat energi yang tersimpan dalam sel, semakin besar nilai BP maka api akan membara lebih lama. Jika ada sel yang memiliki nilai HP=0, maka dalam setiap iterasi waktu, nilai BP akan berkurang sebanyak 1 poin, menandakan sel tersebut terbakar dan mengurangi HP dari sel sekelilingnya.

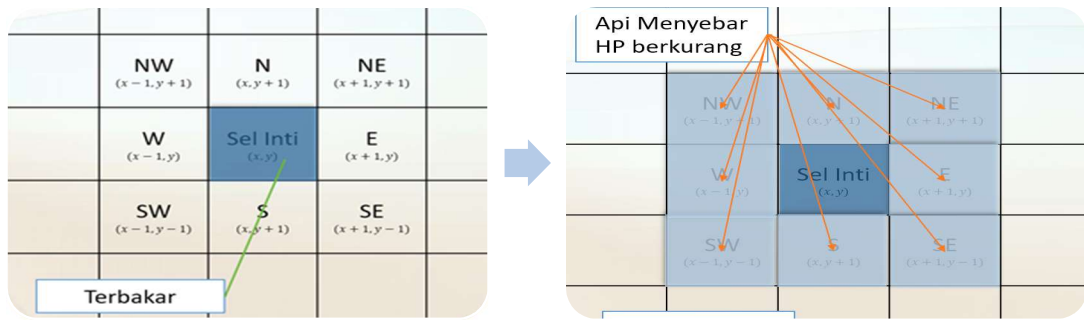
### 3.4.3 Properti IsBurned

Properti IsBurned digunakan sebagai penanda bahwa sel sedang mengalami proses pembakaran yang ditentukan oleh nilai HP bernilai 0 dan nilai BP bernilai lebih dari 0. Jika suatu sel sedang terbakar, sel tersebut akan terus mengurangi HP dari sel disekelilingnya hingga nilai BP dari sel tersebut bernilai 0.

Terdapat perbedaan dalam interaksi sel terbakar dengan jenis sel satu dengan yang lainnya, ketika sebuah sel memiliki HP = 0, sel tersebut akan menjadi sel inti seperti pada Gambar 3.3. Sel inti tersebut akan berinteraksi dengan sel disekelilingnya. Interaksi tersebut adalah mempengaruhi nilai HP dari sel di sekeliling inti sel sampai inti sel terbakar habis (memiliki nilai BP < 0).





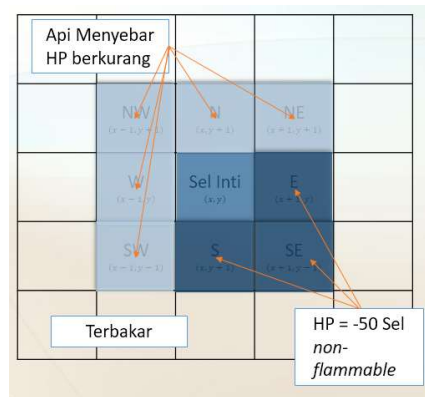


**Gambar 3.3** Interaksi antar sel.

Jika dimisalkan sel pada gambar adalah sel kayu yang terbakar adalah sel di koordinat  $(x,y)$ , maka sel disekeliling sel inti pada  $t=0$  memiliki  $HP = 100$ . Setiap iterasi waktu, dilakukan

$$\begin{aligned}
 HP_{(x+1,y+1)} &= HP_{(x+1,y+1)} - c \\
 HP_{(x,y+1)} &= HP_{(x,y+1)} - c \\
 HP_{(x-1,y+1)} &= HP_{(x-1,y+1)} - c \\
 HP_{(x+1,y)} &= HP_{(x+1,y)} - c \\
 HP_{(x-1,y)} &= HP_{(x-1,y)} - c \\
 HP_{(x+1,y-1)} &= HP_{(x+1,y-1)} - c \\
 HP_{(x,y-1)} &= HP_{(x,y-1)} - c \\
 HP_{(x-1,y-1)} &= HP_{(x-1,y-1)} - c \quad \dots (3.1)
 \end{aligned}$$

Pada Persamaan 3.1 konstanta  $c$  melambangkan berapa besar nilai HP berkurang dalam setiap iterasi waktu. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan dan kemudahan dalam perhitungan, konstanta  $c$  ditentukan bernilai 5. Terdapat pengecualian jika sel yang bersebelahan dengan sel yang terbakar memiliki  $HP < 0$ , maka proses diatas akan dilewati, sehingga benda yang tidak terbakar tidak mengalami perubahan nilai HP. Gambar 3.4 mengilustrasikan kasus dimana benda terbakar terletak di sebelah sel yang tidak dapat terbakar.



**Gambar 3.4** Interaksi sel terbakar pada sel yang tidak dapat terbakar

Pada simulasi ini, terdapat 3 aturan api yaitu, seperti dijelaskan pada subbab 3.4.1.

Dalam sistem kartesian dimana setiap sel berbentuk persegi, sebuah sel memiliki *neighbour* sebanyak 8 sel, dimana tiap-tiap delapan sel tersebut memiliki state sendiri-sendiri. Kedelapan sel tersebut dapat berupa sel kain, kayu, plastik, atau sel yang tidak dapat terbakar. Masing-masing memiliki perilaku yang berbeda-beda.

Hubungan antara HP dan BP dalam perilaku api adalah, semakin besar HP maka semakin sulit sel tersebut terbakar. Semakin besar BP maka api akan menyala semakin lama. Pengurangan HP dan BP adalah konstan.

Dalam simulasi ini, satu sel yang terbakar akan mengurangi HP dari sel disekelilingnya secara konstan dengan nilai -5. Sedangkan BP berkurang -1 poin setiap iterasi waktu jika HP dari sel tersebut adalah 0. Jika diasumsikan satu sel terbakar di dalam ketetanggaan suatu sel, maka untuk sel kain yang memiliki HP 20 poin, diperlukan 4 iterasi waktu, atau jika ada 4 sel disekeliling sel tersebut, maka hanya diperlukan 1 iterasi waktu. Sedangkan untuk sel plastik, jika diasumsikan ada 1 sel yang terbakar di sekeliling sel tersebut, karena sel plastik memiliki HP sebesar 60 poin, maka diperlukan 12 iterasi, sedangkan jika satu sel plastik dikelilingi oleh sel yang terbakar, karena satu sel maksimal dikelilingi oleh 8 *neighbour* maka diperlukan 2 iterasi untuk membakar sel plastik yang dikelilingi oleh sel yang terbakar. Untuk sel kayu dengan nilai HP 100, jika diasumsikan ada satu sel *neighbour* yang terbakar maka diperlukan 20 iterasi waktu, jika sel kayu tersebut dikelilingi oleh 8 sel terbakar, nilai pengurangan HP maksimal yang diterima oleh

sel adalah 40 poin (persamaan 3.2) maka satu sel kayu paling cepat dapat terbakar setelah 3 iterasi waktu.

Dengan adanya perbedaan waktu yang dibutuhkan untuk satu sel agar terbakar dan perbedaan lamanya satu sel dapat terbakar maka akan muncul pola penyebaran api yang relatif terhadap benda apa saja yang berada dalam ruangan dan dimana letak titik api pada waktu tertentu.

### 3.5 Interaksi antar Sel

Karena setiap material memiliki atribut yang unik, perilaku antar sel akan berbeda menurut jenis sel. Perbedaan perilaku sel terhadap sel disekelilingnya terjadi karena perbedaan nilai HP dan BP yang merupakan atribut utama setiap sel. Perbedaan ini sejalan dengan pengamatan penulis.

Jika  $a$  adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyulut api pada sel,  $c$  adalah berapa point dari HP yang berkurang dan merupakan konstanta yang ditetapkan berdasarkan kecepatan pembakaran dan kemudahan perhitungan bernilai 5. Dan  $n$  adalah jumlah sel yang bersebelahan dan memiliki  $HP = 0$  dan  $BP > 0$  maka didapatkan persamaan (3.2)

$$a = \frac{HP_{(x,y)}}{c \times n} \dots (3.2)$$

Jika ada 1 sel yang terbakar di sekitar koordinat  $(x,y)$ , maka untuk membakar sel kain dengan 1 sel yang terbakar dibutuhkan waktu 4 iterasi. Sedangkan untuk sel plastik dan kayu, yang berbeda adalah nilai HP. Perlu diingat bahwa semakin banyak sel yang terbakar di sekeliling suatu sel maka semakin cepat sel tersebut terbakar.

Dengan demikian diketahui bahwa untuk menyulut api pada sel plastik, dibutuhkan waktu 12 iterasi, tiga kali lebih lambat daripada sel kain.

Dengan menggunakan persamaan yang sama, waktu yang dibutuhkan agar satu sel kayu terbakar jika terdapat satu sel di sebelah sel kayu yang terbakar adalah 20 iterasi. Proses pembakaran akan berjalan jauh lebih cepat apabila terdapat lebih dari satu sel yang terbakar di sekeliling suatu sel.

Karena ada 5 sel yang terbakar, nilai  $n$  adalah 5, mengakibatkan waktu semula agar sel kayu dapat terbakar jika hanya 1 sel yang tersulut api adalah 20 iterasi, menjadi hanya 4 detik untuk menyulut api pada sel kayu jika terdapat 5 sel yang terbakar di sekelilingnya. Nilai  $n$  sangat mempengaruhi laju api karena berhubungan langsung dengan besarnya api di sekeliling suatu titik. Hal ini sejalan dengan apa yang terjadi pada dunia nyata, jika suatu benda dikelilingi oleh api, maka benda tersebut akan lebih cepat terjalar api daripada jika suatu benda hanya terbakar api pada satu sisi.

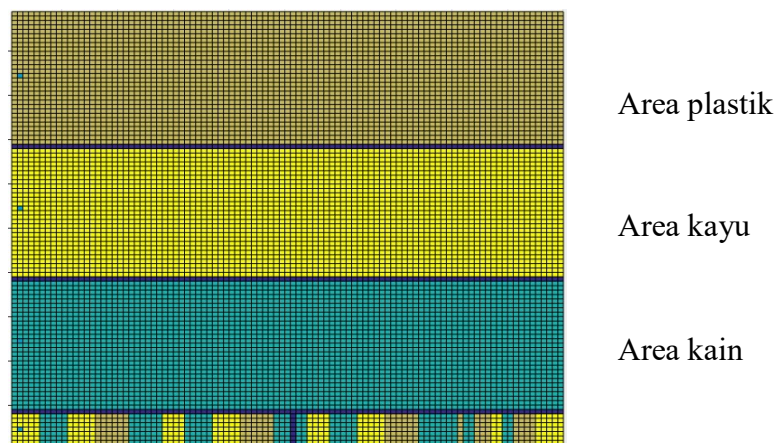
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian simulasi menggunakan penataan ruang kelas dan pola ruangan teratur. Pola *test-pattern* digunakan sebagai data kontrol untuk memastikan simulasi berjalan sesuai dengan hasil yang diharapkan.

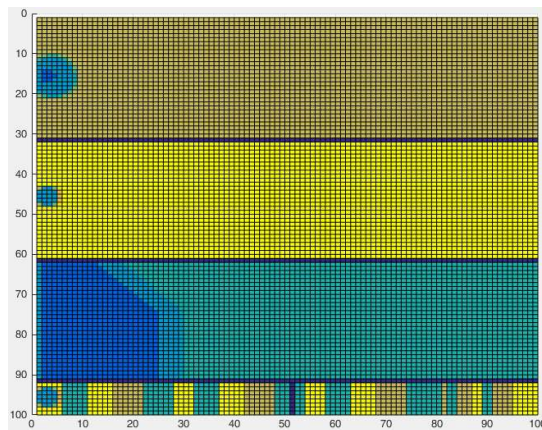
#### 4.1 Simulasi dengan *test-pattern* Sintetis

Pola *test-pattern* ini berupa 4 baris horizontal yang terdiri dari daerah berupa plastik, kayu, dan kain (Gambar 4.1). Tes ini bertujuan untuk mengamati perbedaan laju penyebaran api di material yang berbeda.



**Gambar 4.1.** Test Pattern pada  $t=0$

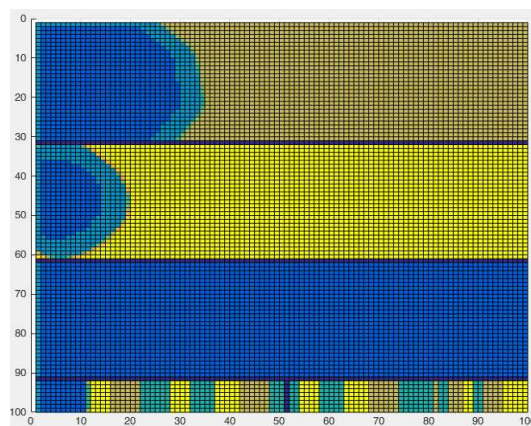
Titik api berawal pada sel pojok kiri dan berada di tengah dari setiap zona material, dengan titik api yang terkontrol, pola penyebaran akan relatif serupa, perbedaan penyebaran api terletak pada kecepatan laju api. Pada setiap iterasi waktu, nilai HP di sekeliling sel yang terbakar akan berkurang hingga mencapai 0. Karena nilai HP terendah adalah HP dari sel kain yaitu setiap sel di area plastik hanya memiliki  $HP=20$ , dengan kata lain, sel kain paling cepat terbakar. Sehingga penyebaran paling cepat terjadi pada area kain diikuti dengan area plastik yang masing-masing selnya memiliki  $HP = 60$ .



**Gambar 4.2.** *Test-pattern* pada  $t=30$

Area berwarna kuning yang merupakan area kayu memiliki kecepatan penyebaran api yang paling lambat diantara dua material lainnya. Pada  $t=30$  terlihat pada Gambar 4.2 penyebaran api pada area kayu secara signifikan lebih kecil daripada kain, dan lebih kecil daripada plastik.

Pada  $t=118$  area kain terbakar habis sedangkan area kayu api masih mulai membesar dan belum mencapai dinding.



**Gambar 4.3.** Pola penyebaran api pada  $t=118$

Area kain paling cepat terbakar karena sel kain memiliki HP paling kecil dibandingkan sel material lainnya. Sel kain juga memiliki nilai BP yang paling kecil sehingga api pada sel kain juga cepat padam. Sedangkan area plastik yang memiliki nilai HP dan BP lebih besar daripada kain namun lebih kecil dari kayu, sehingga

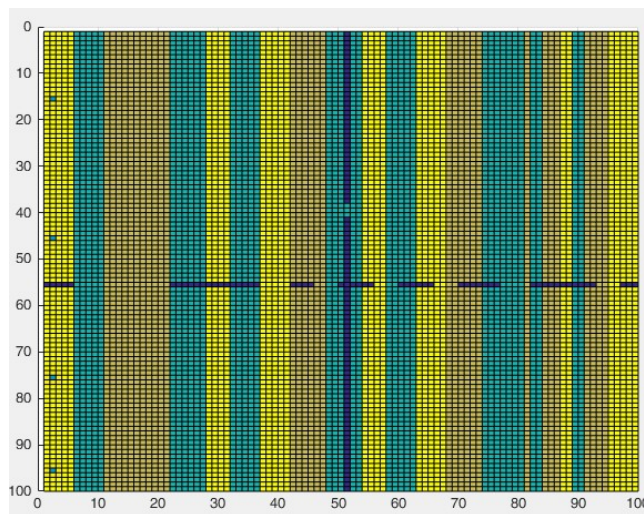
kecepatan penyebaran api pada plastik lebih cepat daripada kayu dan lebih lambat daripada plastik.

Nilai HP pada sel kain adalah 20, sedangkan pada setiap iterasi, jika ada sel tetangga yang terbakar maka HP akan berkurang sebanyak 5 poin, jika ada 2 sel yang tetangga yang terbakar, maka HP akan berkurang 10 poin per iterasi, begitu seterusnya.

Gambar 4.3 merupakan hasil akhir simulasi dimana kecepatan rambat api pada material kain sangat cepat dan sesuai dengan hasil yang diharapkan.

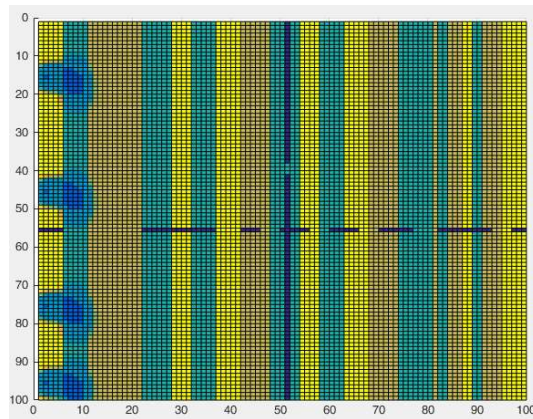
#### 4.2 Simulasi pada Pola Selang-seling.

Pola selang-seling digunakan untuk menguji interaksi sel yang memiliki material yang berbeda. Titik api pada simulasi ini berjumlah 4 titik api dengan posisi yang terletak pada kolom yang sama di baris yang berbeda. Pola selang-seling ini dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4.** Kondisi awal pola selang-seling ( $t=0$ ).

Dalam pola selang-seling diletakkan juga pembatas berupa sel yang tidak dapat terbakar (tembok) untuk mengamati pola penyebaran api pada daerah yang menyempit (*bottleneck*).

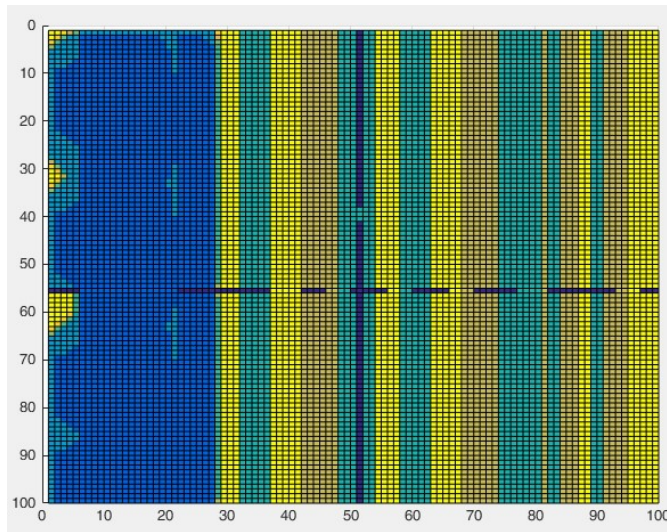


**Gambar 4.5.** Kondisi simulasi pada  $t=48$

Api menyebar dari area kayu di pojok kiri ke area kain di sebelahnya, dengan pola selang-seling akan terlihat interaksi antara sel kayu, sel plastik, dan sel kain. Pada Gambar 4.5 terlihat bahwa sebelum api di titik api padam, api sudah menyebar ke area kain dan menyebar. Saat api menyebar pada sel kain, api pada titik pertemuan sel kayu dan sel kain mulai padam, sedangkan api pada sel kayu tetap menyala seperti terlihat dari warna yang masih biru muda, menandakan bahwa sel tersebut terbakar. Sel yang telah padam akan berwarna biru tua.

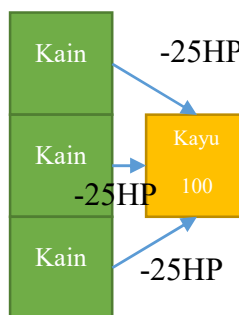
Pada koordinat  $x=30$  dimana sel kain bertemu dengan sel kayu, api pada sel api padam sebelum sel kayu mulai terbakar, mengakibatkan berhentinya penyebaran api. Perilaku ini sesuai dengan harapan penulis yang dibahas pada subbab 3.4.1 yaitu, sel kain, agar dapat membakar sel kayu harus mengelilingi sel kayu. Dalam fase ini, api hanya akan menyala dan menghabiskan bahan bakar yang ada tanpa meluas ke sel lain. Pada Gambar 4.6 terlihat penyebaran api terhenti karena sel kayu yang menutupi seluruh pertemuan antara sel kayu dan kain. Jika sel kain melingkari sel kayu, maka ada kemungkinan sel kayu dapat terbakar.





**Gambar 4.6.** Penyebaran api berhenti saat sel kain bertemu dengan sel kayu

Dalam kasus ini, sel kain tidak mampu membakar sel kayu karena posisinya yang tidak strategis, jika diperbesar, pertemuan antara tiap sel kayu dengan sel kain seperti pada Gambar 4.7, sel kain yang tersusun paralel dengan sel kayu tidak bisa membakar sel kayu karena BP dari sel kain hanya bernilai 5, Artinya satu sel kain akan mengurangi HP dari sel kayu maksimal sebanyak 25 poin dan luas permukaan bidang paralel yang berhimpitan adalah 3 sel. Tiga sel kain akan mengurangi poin dari satu sel HP sebanyak 75 poin, masih lebih kecil dari nilai HP sel kayu yang bernilai 100. Dengan demikian, agar sel kain dapat menyulut api sel kayu, minimal harus ada 4 sel kain yang mengelilingi sel kayu tersebut.



**Gambar 4.7.** Ilustrasi 3 sel kain gagal membakar sel kayu.

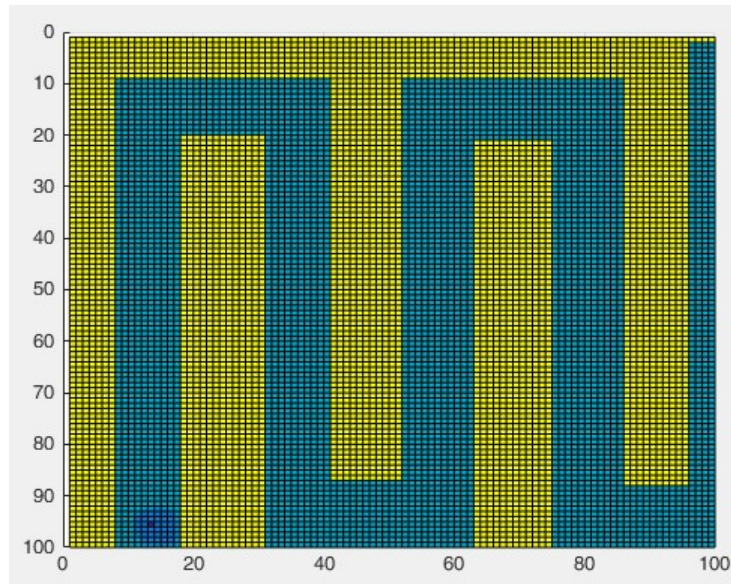
Mengacu pada persamaan 3.2 jika sel kain terbakar, maka sel kain akan mencoba membakar sel kayu selama 5 iterasi, maka  $a = 5$ , jika ada 3 sel kain yang bisa membakar sel kayu yang berlokasi paralel dengan deretan sel kain maka nilai HP total yang dapat dikurangi adalah

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{HP_{(x,y)}}{5n} \\
 HP_{(x,y)} &= a \times 5n \\
 HP_{(x,y)} &= 3 \times 5 \times 5 \\
 HP_{(x,y)} &= 75 \\
 &\dots(4.1)
 \end{aligned}$$

Maka nilai HP maksimal yang dapat dibakar deretan sel kain yang paralel dengan sel kayu adalah 75 poin, sedangkan satu sel kayu memiliki HP sebanyak 100 poin. Maka hasil dari simulasi ini sesuai yang diharapkan yaitu sel kain tidak dapat membakar sel kayu jika posisinya paralel dengan sel kayu.

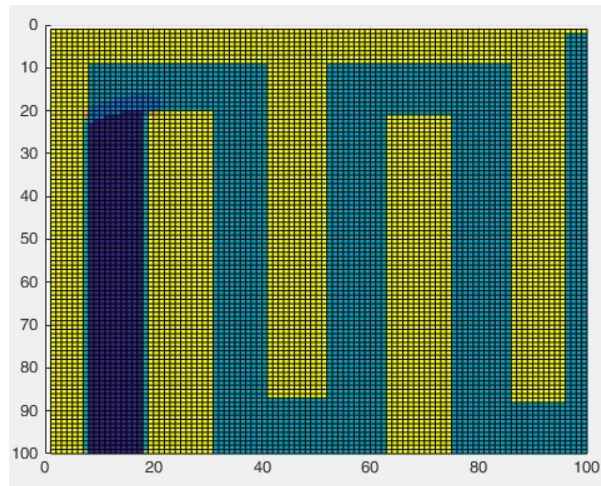
### 4.3 Simulasi pada pola zig-zag

Pada skenario pola zig-zag hanya terdapat 2 jenis material, simulasi ini dilakukan untuk menganalisa interaksi antara sel kain dan sel kayu, khususnya jika sel kayu dikelilingi hingga lebih dari 3 sel kain. Titik api dimulai dari sel kain yang memiliki formasi zig-zag dengan dikelilingi oleh sel kayu.



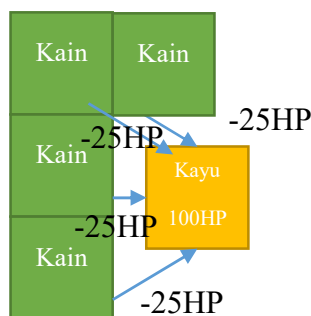
**Gambar 4.8.** Formasi skenario simulasi zig-zag

Pada  $t=0$  api muncul di tengah formasi sel kain, api menyebar dari sel kain ke sel kain di sekelilingnya, di perbatasan antara sel kain dan sel kayu, api tidak dapat menyebar ke sel kayu karena jika sel kayu dan sel kain tersusun secara paralel, satu sel kayu maksimal hanya dapat berinteraksi dengan 3 sel kain. Jika satu sel kain memiliki  $BP = 5$ , maka satu sel kain hanya dapat mengurangi HP dari sel kayu sebanyak 25 poin, sedangkan sel kayu memiliki HP sebesar 100. Untuk sel kain agar dapat menyulut api pada sel kayu dibutuhkan paling tidak 4 sel kain yang mengelilingi satu sel kayu. Kasus ini terjadi pada saat kumpulan sel kain membentuk sudut 90 derajat terhadap sel kayu. Pada Gambar 4.9 dimana iterasi simulasi berada pada  $t$  ke 120, hal serupa seperti pada percobaan Subbab 4.2 terjadi, dimana sel kain yang posisinya paralel dengan sel kayu tidak akan dapat membakar sel kayu, kecuali jika sel kain terletak mengelilingi sel kayu.



**Gambar 4.9.** Kondisi simulasi saat  $t=120$

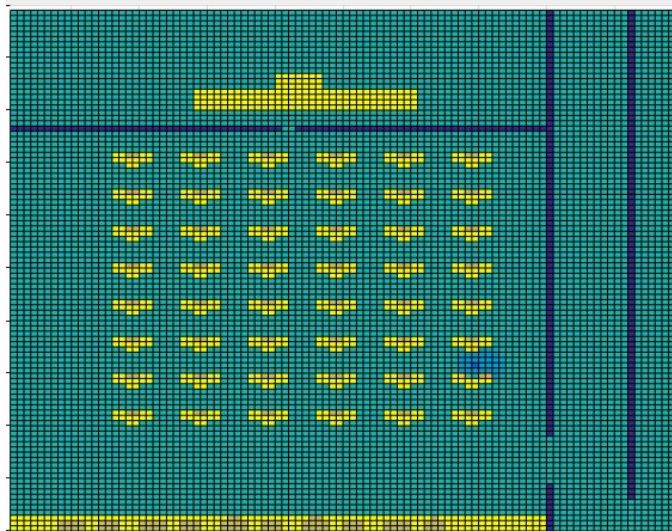
Sampai pada iterasi ke 120, api hanya dapat menyebar dari sel kain ke sel kain lainnya, belum ada sel kayu yang tersulut api. Ketika api mulai merambat ke mengelilingi sel kayu, satu sel kayu akan terbakar dan api dari sel kayu yang terbakar tersebut akan menyebar ke sel kayu lainnya dengan kecepatan yang jauh lebih lambat daripada kecepatan api saat menyebar di sel kain. Saat api mencapai belokan pertama, dikarenakan bentuk penyebaran api yang menyerupai huruf L terbalik, sel kayu yang berada tepat di ujung pojok terpapar oleh sel terbakar yang cukup untuk membakar sel kayu tersebut. Dengan demikian api dapat mulai menyebar ke sel kayu.



**Gambar 4.10** Dalam formasi L, sel kain dapat membakar sel kayu.

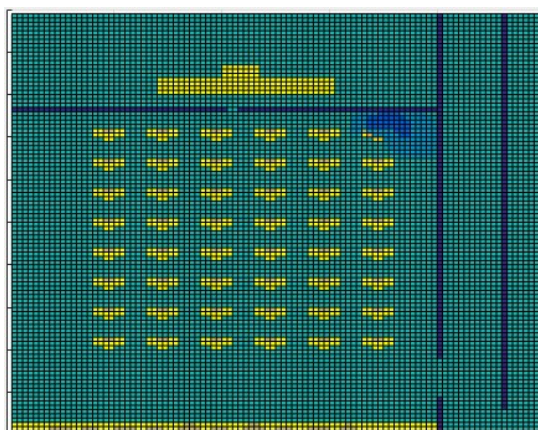
#### 4.4 Simulasi pada Pola Ruang Kelas

Pada pola kelas, titik api muncul di lokasi acak. Dalam simulasi pola ruangan kelas, ada beberapa jenis objek yang biasa ditemui dalam ruang kelas, seperti susunan meja dan kursi, meja guru, dan lemari di belakang kelas. Pola ruangan ini akan menggambarkan interaksi antar sel pada dengan bentuk objek yang bermacam-macam. Dalam simulasi ini, selain ruang kelas terdapat juga koridor yang berada disamping kelas tersebut sehingga dapat dianalisa pada iterasi ke berapa api mulai merambat keluar ruangan dengan catatan ruang kelas dan koridor dilapisi dengan karpet yang terhubung. Gambar 4.11 menunjukkan kondisi awal sebelum simulasi dijalankan.



**Gambar 4.11** Situasi ruang simulasi pada  $t=0$

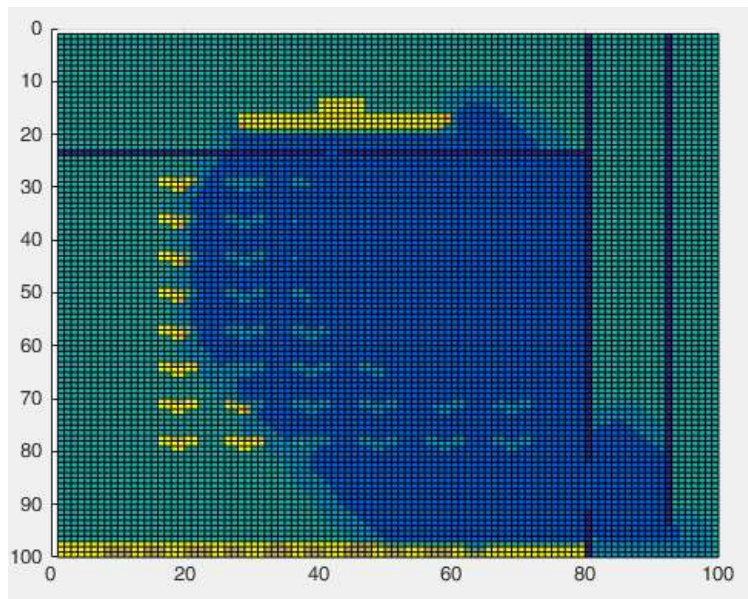
Sesuai dengan persamaan (3.2) karena api muncul di lokasi acak, dalam simulasi yang dijalankan kali ini api muncul pada karpet, setelah  $t=4$  api mulai membesar dari 1 sel ke sel di sekitarnya. Berbeda dengan simulasi sebelumnya, dimana sel kayu hanya berhimpitan dengan sel kain, di simulasi ini, sel kayu dikelilingi dengan sel kain, sehingga sel-sel kayu dalam simulasi ini dapat terbakar disebabkan oleh api yang sudah merambat ke sel-sel kain.



**Gambar 4.12** Pada  $t=14$  api sudah merambat ke meja di pojok kanan atas.

Ruangan yang didominasi oleh material kain akan menyebabkan api merambat dengan cepat dan menjalar ke benda-benda lainnya. Objek-objek lain seperti kayu dan plastik akan sangat mempengaruhi laju penyebaran api dengan cara menghalangi dan memperlambat penyebaran api. Dari sini akan muncul pola api yang berbeda berdasarkan bentuk dan pengaturan material yang ada dalam ruangan.

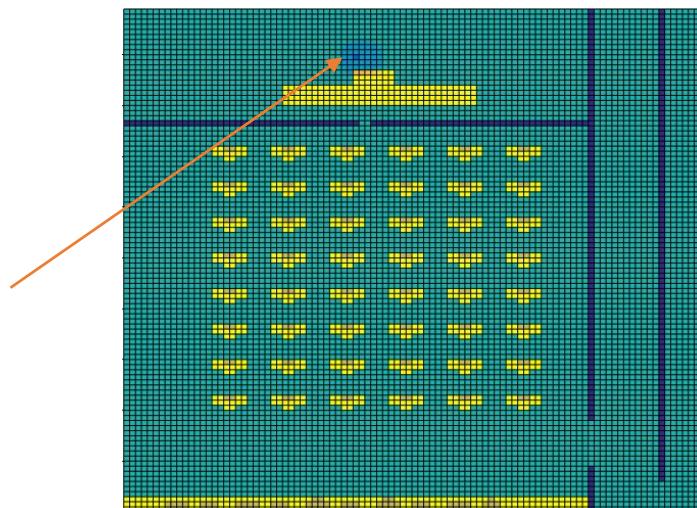
Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 4.13 dimana api sudah menghabiskan lebih dari separuh ruangan dan menjalar ke koridor yang dilapisi karpet. Tetapi sebagian besar barang yang terbuat dari material kayu masih belum habis terbakar dikarenakan nilai HP nya yang besar. Hal inilah yang membuat penyebaran api bervariasi. Setiap material memiliki properti yang berbeda, cepatnya material tersebut terbakar dan seberapa lama api dapat terus menyala.



**Gambar 4.13**  $t=100$  Api telah menghabiskan hampir dari separuh ruangan

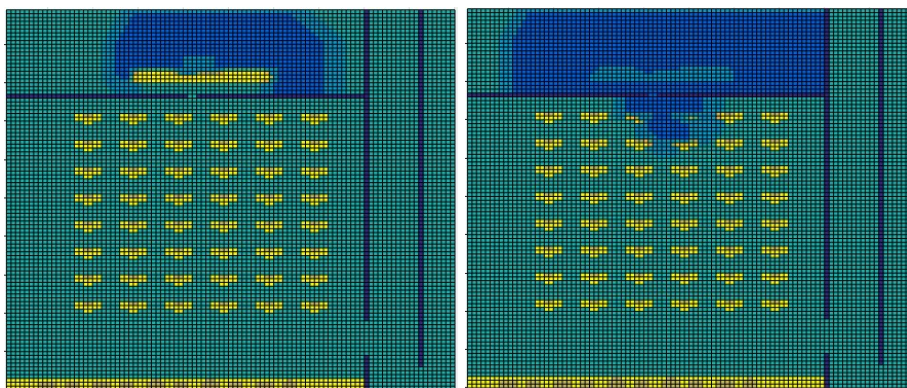
Dapat diamati bahwa arah penyebaran api cenderung mengarah ke arah dimana terdapat lebih sedikit kayu yang merupakan material yang lebih sulit terbakar daripada material lainnya.

Jika titik api bermula dari bagian atas ruang kelas, dimana terdapat tembok yang menghalangi bagian atas dan bawah, maka api akan bergerak mengelilingi tembok hingga menemukan jalur untuk menyebar lebih luas.



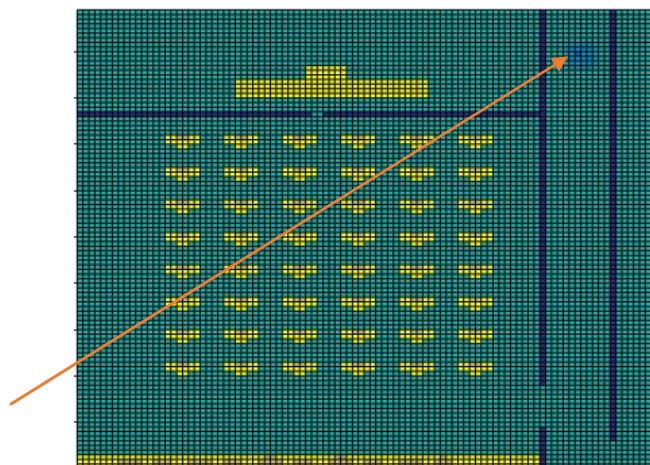
**Gambar 4.14** Percobaan kedua dengan titik api di bagian atas pada  $t=6$  dengan gambar panah menunjukkan titik awal api

Pada gambar 4.14 dapat diamati, titik api berasal pada bagian atas meja guru yang terpisah oleh tembok, karena media penyebaran utama api pada ruangan ini adalah kain karpet yang berada di lantai, api menjalar dengan cepat memenuhi ruangan atas. Penyebaran api terhalang oleh material kayu, tetapi saat api sudah mengelilingi kayu, kayu akan ikut terbakar dan api terus meluas hingga menemukan jalan keluar dan menyebar ke ruangan di sebelahnya. Seperti terlihat pada gambar 4.15.



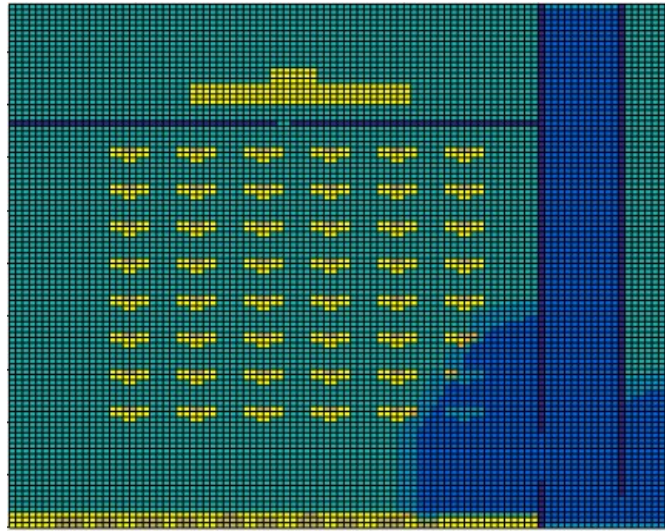
**Gambar 4.15** kondisi ruang pada  $t=30$  dan  $t=80$

Jika titik api diawali pada koridor di sebelah kanan ruang kelas, maka pola penyebaran api akan berbeda, begitu pula luas daerah yang termakan api juga akan berbeda, semakin banyak hambatan, semakin lambat api dapat menyebar.



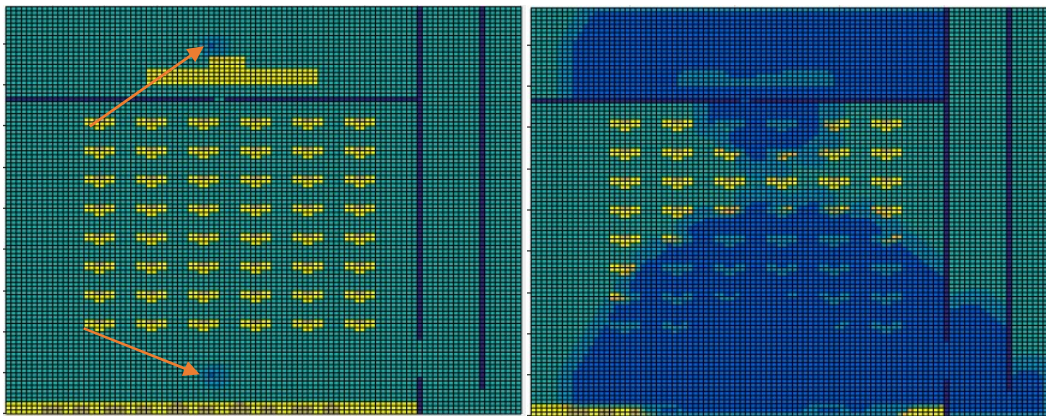
**Gambar 4.16** Titik api yang berawal di bagian kanan area ditunjukkan dengan panah.





**Gambar 4.17** Api menyebar melalui celah pada tembok pada  $t=130$ .

Jika terdapat lebih dari satu titik api maka kecepatan penyebaran dan pengaruh hambatan dapat diamati secara langsung. Seperti pada gambar 4.16 kedua titik api terletak berseberangan, tetapi titik api bagian atas terhambat oleh tembok dan hanya terdapat jalur kecil untuk menyebar, hal ini akan menyebabkan titik pertemuan penyebaran api terdapat pada bagian atas ruangan dikarenakan hambatan yang ada.

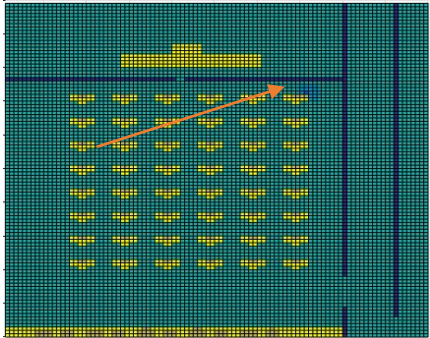
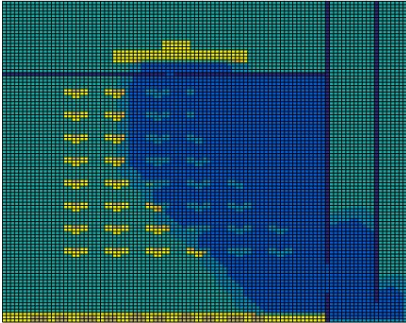
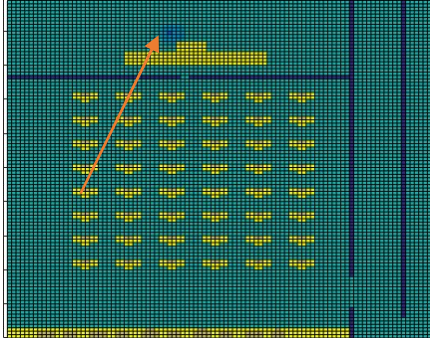
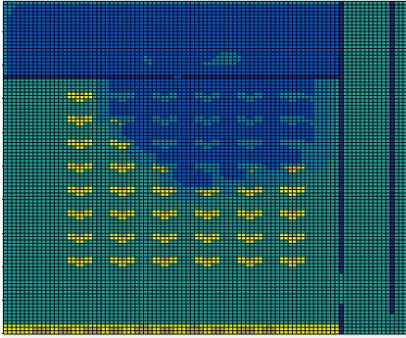
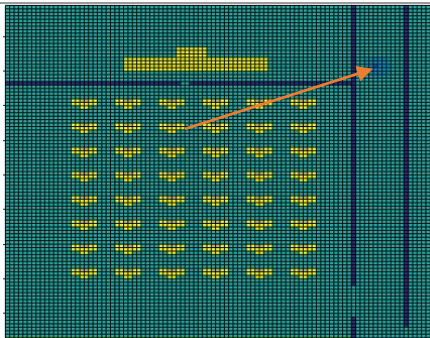
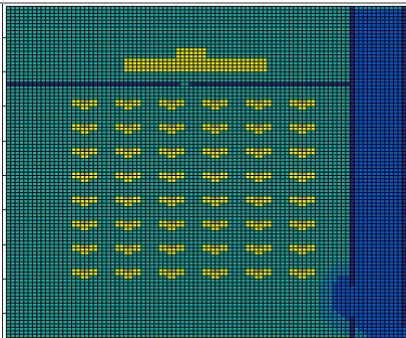


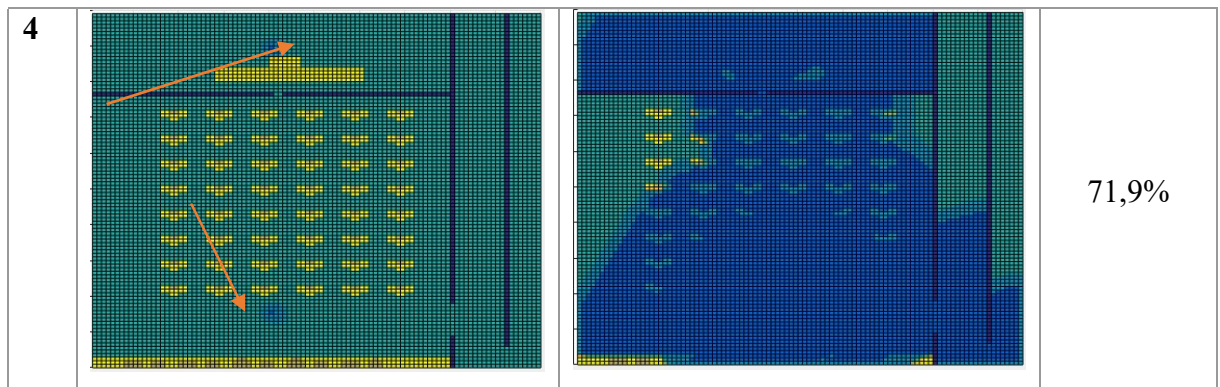
**Gambar 4.18** Pola penyebaraan api pada  $t = 5$ ; kanan pola penyebaran api pada  $t = 85$ .

Gambar 4.16 membuktikan bahwa kecepatan penyebaran api dipengaruhi oleh bentuk medan dan bahan bakar. Karena penyebaran utama terjadi pada material kain, material kayu yang merupakan bahan bakar dapat menjadi penghalang yang menghambat kecepatan penyebaran api, namun karena kayu adalah benda yang dapat terbakar, kayu tidak dapat sepenuhnya menghentikan laju penyebaran api.

Dengan titik asal api yang berbeda, kecepatan penyebaran api juga akan mengalami perubahan. Perbedaan kecepatan penyebaran ini dapat diamati pada tabel 4.1.

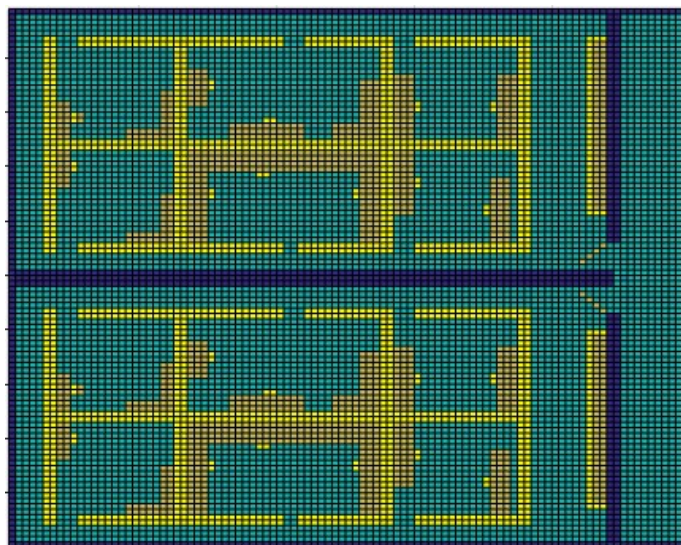
Tabel 4.1 Perbandingan luas penyebaran api pada titik api yang berbeda

No	t=5	t= 85	Prosentase area terbakar
1			35%
2			31,7%
3			12,4%



#### 4.5 Simulasi pada 2 Ruang yang Bersebelahan

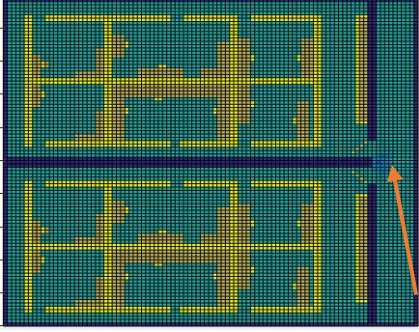
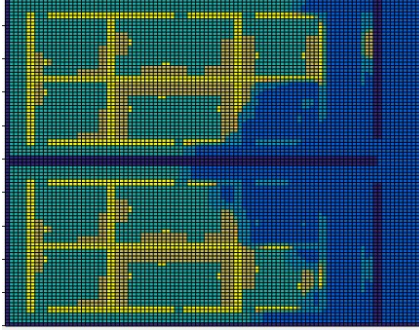
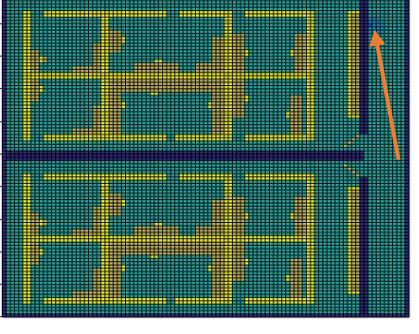
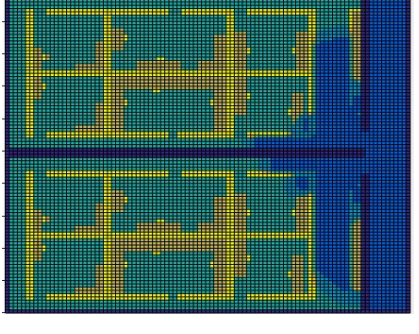
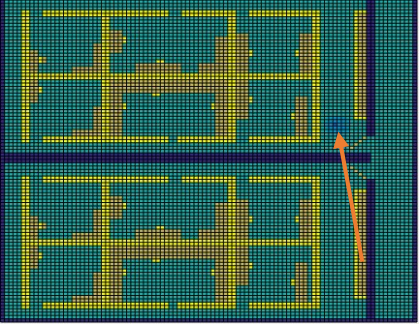
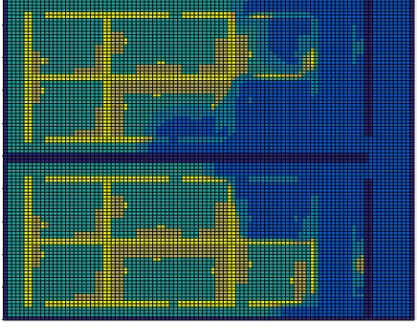
Pada simulasi ini, area simulasi diandaikan sebuah kantor dengan 2 ruang kantor terpisah yang dihubungkan oleh koridor. Setiap ruangan dibagi menjadi 6 ruang kecil dengan sekat kayu seperti pada gambar 4.18. Setiap ruangan memiliki pintu plastik yang tidak menutup sempurna.

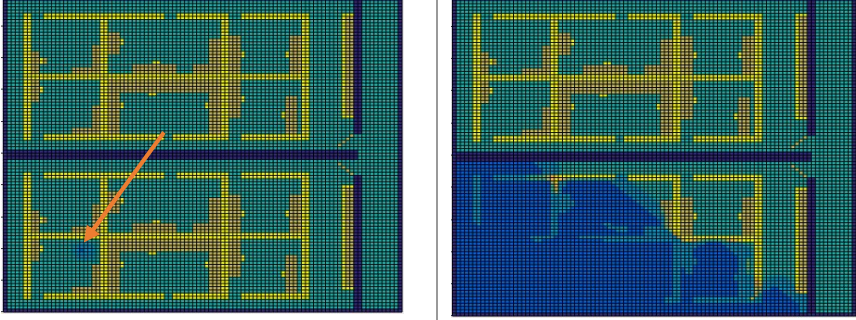


**Gambar 4.19** Formasi simulasi ruang bersebelahan

Pada simulasi ini dilakukan beberapa percobaan dengan titik api yang berbeda-beda dan hasilnya dapat dibandingkan satu sama lain pada iterasi waktu yang sama. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Simulasi yang diuji pada formasi ruang bersebelahan

No	Iterasi t = 5	Iterasi t = 100	Keterangan
1			<p>Titik api berada pada koridor tepat diantara 2 ruangan sehingga penyebaran cenderung mirip. Prosentase 31,8%</p>
2			<p>Titik api dimulai dari bagian atas koridor, api menyebar ke ruang pertama sebelum ke ruang kedua. Prosentase 17,9%</p>
3			<p>Titik api bermula di ruang pertama, namun karena posisi titik api dekat dengan pintu, api cepat menyebar ke ruang sebelah Prosentase 34,8%</p>

4		<p>Titik api bermula pada ruang kedua pada posisi di dalam sekat, sehingga membutuhkan waktu lama agar api dapat menyebar.</p> <p>Prosentase 27,6%</p>
---	--	--

Pada pengujian pertama, ketika titik awal api berada di tengah dua ruangan tersebut, laju penyebaran api akan relatif sama. Pada pengujian kedua dan ketiga, titik awal api berada pada bagian atas koridor yang terpisah oleh tembok dari kedua ruangan. Namun penyebaran api pada kedua ruangan relatif mirip dikarenakan lokasi jalur masuknya api atau pintu yang menghubungkan koridor dan ruangan berdekatan antara ruangan satu dengan yang lainnya.

Pada pengujian nomer 4 di tabel 4.2 lokasi titik api yang terisolasi menyebabkan api tidak dapat menyebar ke ruang yang berada di sebelahnya. Api terisolasi pada ruang bagian bawah dengan pola penyebaran yang awalnya dapat terhambat oleh kayu. Namun saat kayu sudah terbakar, api akan semakin cepat merambat dikarenakan energi yang terdapat pada kayu akan menyulut api yang besar.

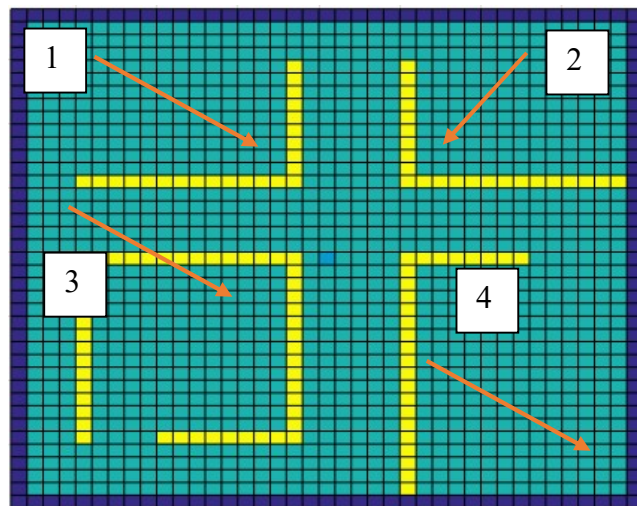
#### 4.6 Simulasi pada Arena KRCI

Pada pertandingan lomba robot KRCI (Kontes Robot Cerdas Indonesia) terdapat salah satu segmen dimana robot yang bertanding harus mencari dan memadamkan api yang ada pada salah satu titik api yang disediakan. Setiap titik api terdapat pada ruangan yang terhubung oleh koridor.



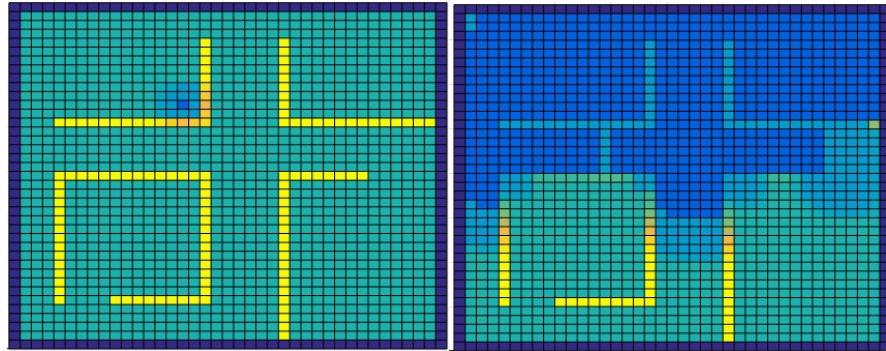
**Gambar 4.20** Arena lomba KRCI.

Pada perlombaan KRCI, terdapat 4 titik api awal yang akan dipilih secara random dan robot buatan peserta harus dapat menemukan dan memadamkan api tersebut. Jika arena tersebut direpresentasikan ke dalam simulasi maka area yang muncul akan seperti pada gambar 4.21



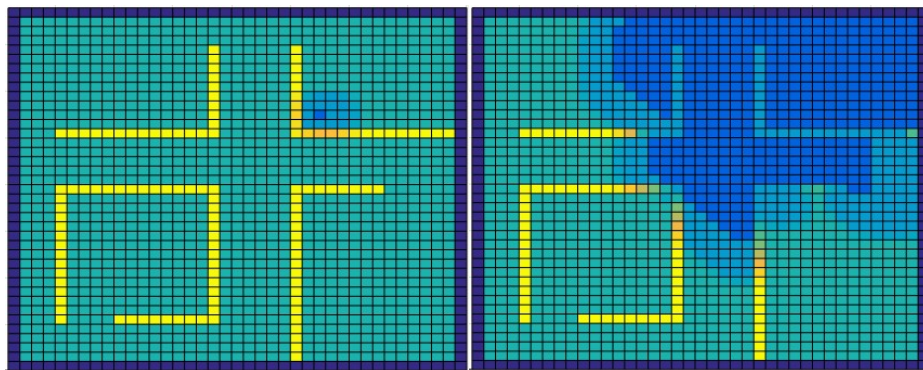
**Gambar 4.21** Arena KRCI beserta titik-titik api yang muncul.

Jika api muncul dari salah satu dari keempat titik di gambar 4.21 maka terdapat 4 macam pola penyebaran api. Yang pertama adalah titik api pada bagian kiri atas. Pola penyebaran dapat dilihat pada gambar 4.22.



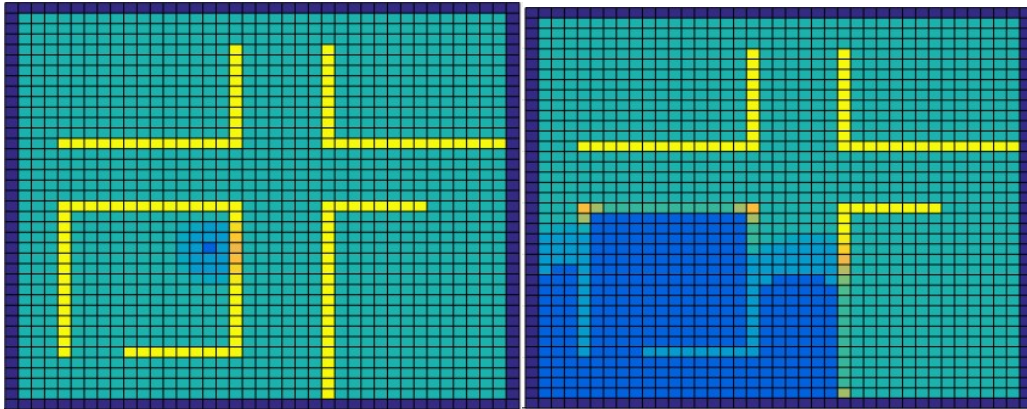
**Gambar 4.22** Kondisi simulasi pada  $t=5$  dan  $t=45$  pada titik api pertama

Titik api pertama hanya tertutup oleh 2 sisi kayu, sehingga api dapat menyebar melalui dua celah yang ada. Hal ini menyebabkan penyebaran api dari titik api ini merupakan yang paling cepat dikarenakan sedikitnya penghalang.



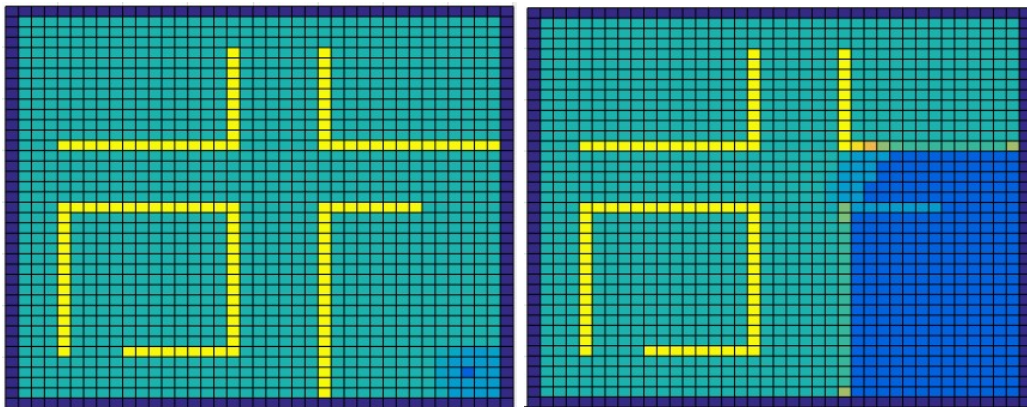
**Gambar 4.23** Kondisi simulasi pada  $t=5$  dan  $t=45$  pada titik api kedua.

Titik api kedua memiliki posisi di kanan atas seperti pada gambar 4.23, titik api ini hanya memiliki satu celah sehingga penyebaran api akan lebih lambat daripada titik api pertama.



**Gambar 4.24** Kondisi simulasi pada  $t=5$  dan  $t=45$  pada titik api ketiga.

Begitu juga dengan titik api ketiga, titik api ini hampir terisolasi oleh penghalang kayu yang meski suatu saat akan terbakar habis, tapi kayu bisa menghalangi penyebaran api.



**Gambar 4.25** Kondisi simulasi pada  $t=5$  dan  $t=45$  pada titik api keempat.

Titik api keempat (gambar 4.25) hampir mirip dengan titik api ketiga, pada rentang waktu yang sama, api hanya dapat menyebar ke koridor di depan titik api, berbeda dengan titik api pertama dimana api dapat menyebar luas hampir separuh dari seluruh area simulasi.



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

*Cellular Automata* merupakan sebuah sistem yang relatif sederhana namun dapat digunakan untuk memodelkan sesuatu yang kompleks seperti kemunculan pola unik yang muncul pada hewan laut. Dengan sedikit modifikasi, sistem Cellular Automata dapat digunakan untuk membuat model penyebaran api yang relatif sederhana namun relatif akurat jika dibandingkan dengan metode yang mengandalkan probabilitas. Kesederhanaan *Cellular Automata* merupakan nilai tambah karena tidak terlalu membebani kinerja CPU, sehingga sumber daya dalam komputer dapat digunakan untuk keperluan lain. Hal ini akan membantu dalam pengaplikasian dalam permainan.

Pada pengujian, dalam ruang yang sama tetapi titik api yang berbeda, titik api dimana terletak dengan benda yang mudah terbakar paling banyak, dalam penelitian ini yaitu berupa kain akan memiliki kecepatan perambatan api paling cepat, yaitu 35% dari seluruh area, dibandingkan dengan 31,7% dari seluruh area jika titik api awal terisolasi.

Dalam penelitian ini fitur yang ditekankan adalah kondisi dimana dalam suatu ruang, pasti terdapat lebih dari satu macam benda yang memiliki kecepatan perambatan api yang berbeda satu sama lain. Dengan mengaplikasikan perbedaan material, maka terdapat perbedaan pola penyebaran api saat satu material berinteraksi dengan material lainnya.

#### **5.2 Penelitian Selanjutnya**

Untuk kedepannya, simulasi ini masih bisa dikembangkan dengan memperhitungkan arah dan kekuatan angin, dengan demikian pola penyebaran api tidak hanya dipengaruhi oleh jenis bahan bakar dan bentuk ruangan yang ada, namun ada faktor eksternal berupa angin yang akan mempengaruhi laju pembentukan api.

Salah satu faktor lain yang dapat dijadikan pertimbangan adalah variasi pada satu material seperti kayu, ada beberapa macam jenis kayu yang memiliki kepadatan yang berbeda yang dapat mempengaruhi laju penyebaran api.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jameson, Fredric. (1992) *Signatures of the Visible*. New York, Routledge.
- [2] Crawford, Chris (1982). *The Art of Computer Game Design*, hal. 7
- [3] Low, Gek Siong, *Understanding realism in Computer Games through Phenomenology*.
- [4] Svanaes, Dag (unpublished). *Understanding Interactivity*, Chapter 3: Non-Cartesian Alternatives.
- [5] Takizawa, Atsushi., Yamada, Atsushi., Kawamura Hiroshi., Tani Akinori. (2000) "Simulation of Spreads of Fire on City Site by Stochastic Cellular Automata", *12th World Conference on Earthquake Engineering*. hal. 2334-1 - 2334-8
- [6] Hiltermann, Saskia. (2008) "Multi-Coloured Cellular Automata", Leiden Institute of Advanced Computer Science.
- [7] Von Neuman, J. (1966), *Theory of Self-Reproducing Automata*, edited and completed by Burks, A. W., Illinois Univ. Press.
- [8] Ranjan Nayak, Deepak., et al(2014). A survey on two dimensional cellular automata and its application. *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*.
- [9] Schönfisch, Birgitt. de Roos, Andre. (1999) "Synchronous and Asynchronous Updating in Cellular Automata". Institute for Systematics and Population Biology, University of Amsterdam.
- [10] Weisstein, Eric W. "Discrete mathematics". MathWorld.
- [11] Wolfram, S. "Statistical Mechanics of Cellular Automata." *Rev. Mod. Phys.* 55, 601-644, 1983.
- [12] Wolfram, S. *A New Kind of Science*. Champaign, IL: Wolfram Media, pp. 23-60, 112, and 865-866, 2002.

[13] N. Packard, Cellular automaton models for dendritic crystal growth, Institute for Advanced Study, preprint (1985).

## **LAMPIRAN**



## BIOGRAFI PENULIS

# GALIH PUTRA RIATMA

JALAN CANDI MENDUT BARAT A58, MALANG, JAWA TIMUR 65142  
INDONESIA

HOME: (0341) 474 041 | CELL: +62 811 3777 835 | [griatma@gmail.com](mailto:griatma@gmail.com)



### PROFESSIONAL SUMMARY

Technology enthusiast with wide practical knowledge of system debugging, networking, hardware, and experienced in giving lectures in well known university.

### SKILLS

- C, PHP, HTML proficient.
- Basic Cisco IOS.
- Vast knowledge of Windows and Android Operating system.
- Skilled in system debugging.
- Wide knowledge in computer hardware and how they work.
- Excited to learn about anything new.
- Able to work in team as leader as well as member.
- Fast learner, quick to improve
- Bilingual

### WORK HISTORY

#### POLITEKNIK NEGERI MALANG

Lecturer | Jalan Soekarno Hatta | August 2016 - Current

I taught several university classes from basic programming concept, simple HTML, object oriented PHP, to practical multimedia class where we worked with 3D modelling and developed Augmented Reality application for Android.