

SKRIPSI

MEMBANGUN PERMAINAN PLANARITY
MENGUNAKAN *RANDOMIZED INCREMENTAL*
ALGORITHM



ANTONIUS

NPM: 2013730006

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2017

UNDERGRADUATE THESIS

DEVELOPMENT OF PLANARITY GAME USING
RANDOMIZED INCREMENTAL ALGORITHM



ANTONIUS

NPM: 2013730006

DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND
SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2017

LEMBAR PENGESAHAN

**MEMBANGUN PERMAINAN PLANARITY
MENGUNAKAN *RANDOMIZED INCREMENTAL
ALGORITHM***

ANTONIUS

NPM: 2013730006

Bandung, 22 Mei 2017

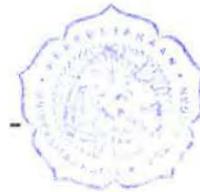
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

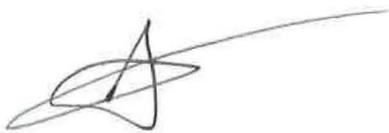


Luciana Abednego, M.T.



Ketua Tim Penguji

Anggota Tim Penguji



Dott. Thomas Anung Basuki



Dr.rer.nat. Cecilia Esti Nugraheni

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Mariskha Tri Adithia, P.D.Eng

PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

MEMBANGUN PERMAINAN PLANARITY MENGGUNAKAN *RANDOMIZED INCREMENTAL ALGORITHM*

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,
Tanggal 22 Mei 2017



Antonius
NPM: 2013730006



ABSTRAK

Graf planar adalah graf yang dapat digambarkan di bidang datar (seperti kertas) tanpa terdapat sisi yang saling berpotongan. Suatu graf planar jika diacak posisi simpulnya akan menjadi terlihat seperti tidak planar lagi. Pentingnya penempatan simpul ini menjadi ide dasar untuk membangun sebuah permainan.

Permainan yang dibuat bernama PLANARITY. Dalam permainan ini, pemain diberikan sebuah graf planar yang diacak posisi simpulnya. Dengan demikian graf tersebut menjadi terlihat tidak planar karena terdapat sisi-sisi yang saling berpotongan. Pemain ditugaskan untuk membuat graf tersebut menjadi terlihat planar kembali (tidak terdapat lagi sisi-sisi yang saling berpotongan), dengan cara memindahkan posisi simpul-simpulnya. Graf planar dibangun menggunakan *randomized incremental algorithm*. Algoritma ini bertujuan untuk membangun *delaunay triangulation* dari himpunan titik. Sifat-sifat dari *delaunay triangulation* memenuhi sifat dari graf planar. Dengan demikian, graf planar didapat dengan membuat *delaunay triangulation* dari himpunan titik.

Permainan telah dibangun diuji ke beberapa pengguna. *Randomized incremental algorithm* berhasil membangun graf planar secara acak yang layak dimainkan. Pengujian dilakukan dengan mengukur berapa lama waktu yang dibutuhkan pemain dalam menyelesaikan permainan. Pada setiap kenaikan jumlah *vertex*, standar deviasi yang didapat semakin bertambah besar. Dengan demikian tidak dapat diukur rata-rata kecepatan pemain dalam menyelesaikan permainan.

Kata-kata kunci: PLANARITY, *Randomized Incremental Algorithm*, *Delaunay Triangulation*, *Triangulation*

ABSTRACT

Planar graph is a graph that can be drawn in a plane (such as paper) without any crossing edges. The randomness of planar graph's vertices make the graph will be seen as not planar anymore. The importance of placement of these nodes is a basic idea for building a game.

The game created is named PLANARITY. In this game, player is given a planar graph that the position of the vertex is randomized, so the graph will not be seen as planar anymore because there are crossed edges. The goal is to make that graph to be seen as planar graph again, by moving the position of its vertices. Planar graph is built using randomized incremental algorithm. This algorithm is to construct delaunay triangulation from the set of points. The properties of delaunay triangulation satisfy the properties of the planar graph. Thus, the planar graph is obtained by making delaunay triangulation of the set of points.

The Games have been built tested to multiple users. Algorithm randomized incremental algorithm has successfully built a randomly planned planar graph that is worth playing. Testing is done by measuring how long it takes players to complete the game. At each increase in the number of vertex, the standard deviation gained increases. Thus can not be measured average speed of the player in completing the game.

Keywords: PLANARITY, *Randomized Incremental Algorithm, Delaunay Triangulation, Triangulation*

Dipersembahkan untuk kedua orang tua, diri sendiri, dan semua orang yang berperan pada pembuatan skripsi ini

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa. Oleh karena kasih-Nya yang begitu besar, penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "Membangun Permainan PLANARITY Menggunakan *Randomized Incremental Algorithm*" dengan lancar. Penulis akan senantiasa berdoa agar penulisan ilmiah ini dapat memberi informasi yang bermanfaat dan menjadi inspirasi untuk penelitian-penelitian berikutnya.

Selama menempuh kuliah, terutama pada saat penulisan ilmiah ini, penulis mendapat banyak dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin berterima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung penulis:

1. Keluarga yang selalu memberikan dukungan kepada penulis berupa doa maupun nasihat.
2. Ibu Luciana Abednego sebagai dosen pembimbing yang telah sabar membimbing penulis dalam penyusunan penulisan ilmiah ini.
3. Ibu Joanna Helga yang selalu memberikan bantuan berupa saran, kritik dan masukan untuk penulisan tugas akhir ini. Beliau juga sebagai pendengar yang baik ketika penulis mengeluh akan masalah yang dihadapi dalam penulisan tugas akhir ini.
4. Bapak Thomas Anung Basuki dan Ibu Cecilia Esti Nugraheni selaku penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun sehingga tugas akhir ini menjadi lebih baik.
5. *Special thanks* untuk Ibu Joanna Helga, Sammy, Aldo, Devi dan Ega sebagai teman main yang ramah, asyik, seru dan gila.
6. *Nibble Softworks* sebagai team yang memberikan tempat kerja yang nyaman, terbuka akan masukan, jujur, kreatif, peduli akan sesama anggota.
7. Party team dota Tako, aaeldehoc, SSN, Syren. Kalian semua GGWP END FAST.
8. Anggota c92 Yunardi Tanto, Hendrik, Ivan, Brian, Jerry, Bean yang memberikan pengalaman seru, kebersamaan yang gila, pengaruh tidak jelas dan *deadly*. Kata-kata populer ketika karaoke: "Si Forbid Kaya P****".
9. Seluruh teman-teman IT angkatan 2013 yang membuat kenangan selama kuliah menjadi lebih indah dan seru.
10. Pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, yang telah memberikan kontribusi terhadap pembuatan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa penulisan ilmiah ini belum sempurna. Oleh karena itu penulis memohon maaf jika terdapat kesalahan. Penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan dan kemajuan penulis.

Bandung, Mei 2017

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi Penelitian	2
1.6 Sistematika Pembahasan	3
2 LANDASAN TEORI	5
2.1 Pengertian Dasar Graf[1]	5
2.2 Graf Planar[1][2]	6
2.3 Poligon[3][4]	6
2.3.1 <i>Convex Polygon</i>	7
2.3.2 Pemodelan Suatu Poligon Menjadi Graf	7
2.3.3 Mencari Luas Poligon Berbentuk Segitiga Yang Dibentuk Dari Tiga Buah Titik	8
2.4 <i>Circumcircle</i> [5]	8
2.5 <i>Triangulation</i> [3]	9
2.6 <i>Delaunay Triangulations</i> [3]	11
2.7 <i>Randomized Incremental Algorithm</i> [3]	12
2.8 <i>Doubly Connected Edge List (DCEL)</i> [3]	16
2.9 <i>DFS</i> [1][6]	18
2.10 <i>Collinear</i> [6][7][8]	18
3 ANALISIS MASALAH	21
3.1 Implementasi <i>Randomized Incremental Algorithm</i>	22
3.1.1 Tahap Inisialisasi	22
3.1.2 Tahap Memasukkan Titik Baru Terhadap <i>Delaunay Triangulation</i> Sementara	24
3.1.3 Tahap <i>Edge Flip</i>	26
3.1.4 Tahap Memetakan Himpunan Titik Menjadi Poligon Segi n Beraturan	27
3.1.5 Tahap Menggambar <i>Delaunay Triangulation</i> pada <i>Canvas</i>	28
3.2 Analisis Permainan PLANARITY	30
3.3 Algoritma Untuk Memeriksa Jawaban Pemain	33
4 PERANCANGAN	39
4.1 Perancangan Antarmuka Permainan	39
4.2 Perancangan Diagram Kelas	41
4.2.1 Kelas POINT	41

4.2.2	Kelas HALFEDGE	42
4.2.3	Kelas TRIANGLE	42
4.2.4	Kelas NODEDCEL	43
4.2.5	Kelas DATASTRUCTURED	43
4.2.6	Kelas RANDOMIZEDINCREMENTALALGORITHM	43
4.2.7	Kelas CANVAS	44
4.2.8	Kelas STOPWATCH	44
4.2.9	Kelas FUNCTIONALMETHOD	45
5	IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN	47
5.1	Tampilan Utama Permainan <i>Planarity</i>	47
5.2	Deklarasi Kelas antara Javascript dengan Java	49
5.3	Pengujian	50
5.3.1	Pengujian Implementasi <i>Randomized Incremental Algorithm</i>	50
5.3.2	Pengujian Implementasi Tahap Memetakan Menjadi Poligon Segi n Beraturan	52
5.3.3	Pengujian Algoritma Untuk Memeriksa Jawaban Pemain	54
6	KESIMPULAN DAN SARAN	57
6.1	Kesimpulan	57
6.2	Saran	57
	DAFTAR REFERENSI	59
	A KODE PROGRAM	61

DAFTAR GAMBAR

1.1	Graf planar yang diacak letak simpulnya sehingga terlihat seperti tidak planar	1
2.1	Contoh graf dengan 6 simpul dan 7 sisi	5
2.2	Contoh graf planar(kiri) dan bukan graf planar (kanan)	6
2.3	Graf K_5 (kiri) dan graf $K_{3,3}$ (kanan)	6
2.4	<i>polygonal chain</i> (a), <i>simple polygon</i> (b) dan <i>nonsimple polygon</i> (c)	7
2.5	<i>Poligon yang tidak termasuk convex polygon</i>	7
2.6	<i>Pemodelan poligon menjadi graf</i>	8
2.7	<i>Circumcircle</i> dari poligon berbentuk segitiga	9
2.8	<i>Triangulation(kiri) dan bukan triangulation(tengah, kanan)</i>	10
2.9	<i>Proses triangulation pada himpunan titik</i>	10
2.10	<i>Edge Flip</i> [3]	11
2.11	<i>Ilegal Edge</i> [3]	11
2.12	<i>Bukan delaunay triangulation(kiri), delaunay triangulation(kanan)</i> [3]	12
2.13	Langkah awal <i>Randomized Incremental Algorithm</i> [3]	13
2.14	kemungkinan pertama(gambar kiri), kemungkinan kedua(gambar kanan)[3]	13
2.15	Contoh <i>LegalizeEdge</i> saat memasukkan titik baru	14
2.16	<i>Delaunay graph</i> baru setelah memasukkan titik baru[3]	15
2.17	struktur data D beserta proses yang terjadi[3]	16
2.18	<i>record</i> yang disimpan di <i>half-edge</i>	17
2.19	<i>record</i> yang disimpan di <i>DCEL</i>	17
2.20	Teknik <i>DFS</i>	18
2.21	<i>vertex p collinear</i> dengan <i>vertex u</i> dan <i>v</i> (kiri dan tengah), tidak <i>collinear</i> (kanan)	18
2.22	Segmen garis yang memiliki arah dari titik asal u ke titik tujuan v	19
2.23	<i>Cross product</i> 2 buah <i>vector</i>	19
3.1	Hasil graf planar yang diharapkan	21
3.2	Graf planar yang dipetakan	22
3.3	Ilustrasi untuk menentukan koordinat pada titik p_0 , p_{-1} dan p_{-2}	23
3.4	Ilustrasi untuk menentukan koordinat pada titik p_0 , p_{-1} dan p_{-2}	24
3.5	Ilustrasi untuk mengatur <i>twin</i> pada <i>half-edge</i>	25
3.6	Ilustrasi untuk memeriksa apakah suatu segitiga mengandung titik baru	26
3.7	Process edge flip	27
3.8	Ilustrasi Poligon Segi n beraturan	28
3.9	<i>DFS</i> terhadap struktur data D	29
3.10	<i>DFS</i> terhadap struktur data D	30
3.11	Maksimal jumlah <i>vertex</i> pada <i>canvas</i>	31
3.12	Pengurangan jumlah maksimal <i>vertex</i> pada <i>canvas</i>	31
3.13	Contoh kemungkinan graf planar yang dihasilkan	33
3.14	Contoh <i>general case</i>	34
3.15	Contoh <i>special case</i>	35
4.1	<i>Prototype</i> permainan PLANARITY	40

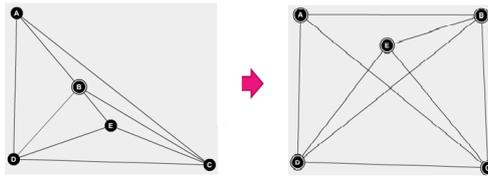
4.2	Diagram Kelas	41
4.3	Kelas POINT	41
4.4	Kelas HALFEDGE	42
4.5	Kelas TRIANGLE	42
4.6	Kelas NODEDCEL	43
4.7	Kelas DATASTRUCTURED	43
4.8	Kelas RANDOMIZEDINCREMENTALALGORITHM	44
4.9	Kelas CANVAS	44
4.10	Kelas STOPWATCH	45
4.11	Kelas FUNCTIONALMETHOD	45
5.1	Tampilan utama permainan PLANARITY	48
5.2	<i>Pop-up</i> pada saat tombol <i>New Game</i> ditekan	48
5.3	Tampilan ketika tombol <i>Pause</i> ditekan	49
5.4	Tampilan ketika tombol <i>Check Solution</i> ditekan	49
5.5	Perbedaan deklarasi Kelas antara Javascript dengan Java	50
5.6	Pengujian apakah <i>delaunay triangulation</i> memaksimalkan besar sudut minimum(1)	51
5.7	Pengujian apakah <i>delaunay triangulation</i> memaksimalkan besar sudut minimum(2)	52
5.8	Pengujian implementasi tahap memetakan dan menjadi terlihat planar kembali(1)	53
5.9	Pengujian implementasi tahap memetakan dan menjadi terlihat planar kembali(2)	54
5.10	Pengujian algoritma untuk memeriksa jawaban pemain	55

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Graf planar adalah graf yang dapat digambarkan di bidang datar (misalnya kertas) tanpa terdapat sisi yang saling berpotongan (*edge-crossing*). Suatu graf planar jika diacak posisi simpulnya akan menjadi terlihat seperti tidak planar lagi, seperti terlihat pada Gambar 1.1. Dengan demikian penempatan posisi simpul untuk menggambar graf planar menjadi penting. Pentingnya penempatan posisi simpul ini dijadikan ide dasar untuk membangun sebuah permainan PLANARITY yang dibahas dalam penelitian ini.



Gambar 1.1: Graf planar yang diacak letak simpulnya sehingga terlihat seperti tidak planar

Dalam permainan PLANARITY yang dibangun ini, pemain diberikan sebuah graf planar yang diacak posisi simpulnya. Dengan demikian graf tersebut menjadi terlihat tidak planar karena terdapat sisi-sisi yang saling berpotongan. Pemain ditugaskan untuk membuat graf tersebut menjadi terlihat planar kembali (tidak terdapat lagi sisi-sisi yang saling berpotongan), dengan cara meminimalkan posisi simpul-simpulnya. Sebelum memulai permainan, pemain harus menentukan terlebih dahulu berapa banyak jumlah simpul pada *graf planar*. Semakin banyak jumlah simpul, maka permainan akan semakin sulit. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah simpul, maka semakin banyak sisi pada graf tersebut. Dengan demikian semakin banyak sisi yang saling berpotongan. Untuk membuat permainan semakin menarik, maka akan dihitung seberapa cepat waktu yang dibutuhkan oleh pemain untuk membuat graf yang diberikan menjadi terlihat planar kembali. Permainan PLANARITY ini diimplementasikan dengan *platform* berbasis web. Hal ini dikarenakan *platform* berbasis web dapat dibuka di *platform* manapun selama *platform* memiliki *browser* yang mendukung *HTML* dan *Javascript*.

Dari deskripsi pada paragraf sebelumnya, maka dibutuhkan suatu algoritma untuk dapat membangkitkan graf planar secara acak. Graf planar yang dibangkitkan akan diacak letak simpulnya, sehingga membuat graf planar tersebut terlihat tidak planar lagi karena terdapat sisi-sisi yang saling berpotongan. Algoritma yang digunakan pada penelitian ini adalah *Randomized Incremental Algorithm*. *Randomized Incremental Algorithm* merupakan algoritma yang menghasilkan *Delaunay Triangulations*, di mana *Delaunay Triangulations* mempunyai sifat yang memenuhi suatu graf dinyatakan sebagai graf planar. Dibutuhkan pula suatu algoritma untuk memeriksa apakah jawaban yang diberikan pemain tidak terdapat lagi sisi-sisi yang saling berpotongan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari latar belakang yang telah dipaparkan adalah:

1. Bagaimana mengimplementasikan *Randomized Incremental Algorithm* untuk membangkitkan graf planar secara acak pada permainan PLANARITY?
2. Bagaimana cara memeriksa apakah jawaban yang diberikan pemain sudah tidak mengandung lagi sisi-sisi yang saling berpotongan?
3. Bagaimana cara membuat permainan PLANARITY dengan *platform* berbasis web?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan penelitian dari rumusan masalah yang telah dipaparkan adalah:

1. Mengimplementasikan *Randomized Incremental Algorithm* yang disesuaikan pada permainan PLANARITY.
2. Merancang algoritma untuk memeriksa apakah jawaban yang diberikan pemain sudah tidak mengandung lagi sisi-sisi yang saling berpotongan.
3. Membuat permainan PLANARITY dengan *platform* berbasis web.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah permainan PLANARITY bersifat *offline*, dan waktu untuk menyelesaikan permainan tidak disimpan.

1.5 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Melakukan studi literatur tentang *Randomized Incremental Algorithm* untuk membangkitkan graf planar secara acak.
2. Merancang algoritma untuk memeriksa apakah jawaban yang diberikan pemain sudah tidak terdapat lagi sisi-sisi yang saling berpotongan.
3. Melakukan studi literatur tentang pembuatan permainan PLANARITY dengan menggunakan *java script* dan *canvas* pada *HTML*.
4. Membuat perancangan permainan PLANARITY.
5. Mengimplementasikan perangkat lunak.
6. Melakukan pengujian dan eksperimen.
7. Menulis dokumen skripsi.

1.6 Sistematika Pembahasan

Dokumen pada penelitian ini terdiri dari enam bab dengan sistematika pembahasan sebagai berikut:

1. Bab 1 Pendahuluan
Bab 1 membahas mengenai latar belakang dibangunnya permainan PLANARITY dan algoritma yang digunakan untuk membangkitkan graf planar secara acak. Selain itu, dibahas juga mengenai rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta metode penelitian.
2. Bab 2 Landasan Teori
Bab 2 memuat konsep-konsep dari pengertian graf, graf planar, poligon, *circumcircle*, *triangulation*, *delaunay triangulation*, *Randomized Incremental Algorithm*, struktur data *DCEL*, *DFS*, dan *collinear*.
3. Bab 3 Analisis Masalah
Bab 3 berisi analisis masalah yang terdiri dari bagaimana mengimplementasikan *Randomized Incremental Algorithm*, analisis permainan PLANARITY, serta algoritma untuk memeriksa jawaban pemain.
4. Bab 4 Perancangan
Bab 4 membahas mengenai perancangan antarmuka permainan, dan perancangan diagram kelas.
5. Bab 5 Implementasi
Bab 5 berisi tentang tampilan utama permainan PLANARITY dan pengujian yang dilakukan.
6. Bab 6 Kesimpulan dan Saran
Bab 6 berisi kesimpulan dan saran untuk penelitian lebih lanjut.