SKRIPSI

MENJAGA MEDAN DENGAN DUA MENARA

Ivan Hardja

NPM: 2017730002

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2022

UNDERGRADUATE THESIS

TERRAIN GUARDING WITH TWO TOWERS

Ivan Hardja

NPM: 2017730002

DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2022

LEMBAR PENGESAHAN

MENJAGA MEDAN DENGAN DUA MENARA

Ivan Hardja

NPM: 2017730002

Bandung, 19 Januari 2022

Menyetujui,

Pembimbing

Digitally signed by Lionov

Lionov, Ph.D.

Ketua Tim Penguji

Digitally signed by Cecilia Esti Nugraheni

Dr.rer.nat. Cecilia Esti Nugraheni

Anggota Tim Penguji

Digitally signed by Natalia

Natalia, M.Si.

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Digitally signed by Mariskha Tri Adithia

Mariskha Tri Adithia, P.D.Eng

PERNYATAAN

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

MENJAGA MEDAN DENGAN DUA MENARA

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 19 Januari 2022

Ivan Hardja
NPM: 2017730002

ABSTRAK

Komputasi geometris merupakan bidang ilmu komputer yang berhubungan dengan komputasi pada benda-benda geometri. Salah satu permasalahan umum pada bidang komputasi geometris adalah *Art Gallery Problems*. Diberikan denah sebuah museum, ingin dicari jumlah kamera paling minimum yang dibutuhkan untuk melihat seluruh area museum.

Salah satu variasi dari *Art Gallery Problems* adalah masalah *Terrain Guarding* atau menjaga medan. Medan terbentuk dari titik dan garis yang terhubung sebagai sebuah *polyline*. Dalam masalah ini, medan memiliki dimensi 1.5 yang berarti *polyline* tersebut monoton terhadap salah satu sumbu. Dalam kasus ini, sumbu yang monoton adalah sumbu x.

Variasi menjaga medan yang ingin diselesaikan adalah menjaga medan dengan menggunakan dua menara yang memiliki tinggi yang sama dan minimal. Pada permasalahan ini, terdapat tiga sub-masalah berdasarkan variasi penempatan kedua menara. Pada kasus diskrit, ingin dicari dua menara yang dasar menaranya terletak tepat di titik pada *polyline*. Pada kasus kontinu, kedua dasar menara terletak di garis pada *polyline*. Pada kasus semi-kontinu, salah satu dasar menara terletak di garis dan dasar menara yang lain terletak tepat di titik pada *polyline*.

Algoritma yang akan diimplementasikan untuk menyelesaikan ketiga masalah di atas dibuat oleh Sergei Bespamyatnikh, dkk. Secara umum, algoritma tersebut mencari seluruh kemungkinan posisi dan tinggi menara dengan menggunakan metode *bisection*. Algoritma tersebut memiliki kompleksitas waktu $O(n^4)$ di mana n adalah kompleksitas dari *polyline*. Untuk kasus semi-kontinu dan kasus kontinu, kompleksitas waktu algoritma adalah $O(n^4 + n^2 f)$ dan $O(n^4 + n^3 f)$, secara berturut-turut, di mana f adalah waktu yang dibutuhkan untuk perhitungan terkait posisi dan tinggi menara saat menjalankan metode *bisection*.

Perangkat lunak dibuat dengan bahasa pemograman Java. Masukan dari perangkat lunak adalah sebuah file berisi gambar medan yang dibuat dengan aplikasi IPE. Keluaran dari perangkat lunak adalah gambar medan dengan dua menara dengan tinggi yang sama dan minimal. Gambar tersebut dapat dibuka dengan IPE.

Hasil implementasi diuji dengan data medan yang tersedia di internet. Pengujian dilakukan dengan medan berbentuk parabola, gelombang sinus, acak dan konkaf. Hasil pengujian diverifikasi secara parsial menggunakan algoritma yang dibuat oleh Agarwal dkk. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa tinggi dan lokasi dari menara kedua sudah optimal berdasarkan tinggi dan lokasi dari menara pertama.

Kata-kata kunci: Menjaga Medan, Komputasi Geometri, Algoritma Visibilitas, Menara Jaga

ABSTRACT

Geometric computing/computational geometry is a branch of computer science that consider solving problems about geometric objects.One of the main problems in computational geometry is The Art Gallery Problems. Given a map of an art gallery, find the minimum number of cameras needed to see the entire gallery.

One variation of the Art Gallery Problems is the Terrain Guarding Problem. The terrain is modeled as a polyline, a series of vertices that are connected by line segments. In this problem, the terrain is in 1.5 dimensions, which means the polyline is a two dimensional object that is monotone in one axis. In this case, the monotone axis is the x axis.

A variation of the terrain guarding problem that we want to solve is the terrain guarding with two towers. The two towers must have the same minimal height. There are three sub-problems based on the placement of the base of the towers. In the discrete case, the base of both towers are located exactly at the vertices of the polyline. In the continuous case, the base of the towers can be located anywhere on the polyline. In the semi-continuous case, the base of one of the tower must be located exactly at a vertex of the polyline and the other can be located anywhere on the polyline (the edges).

To solve the three sub-problems above, the algorithms by Sergei Bspamyatnikh, et.al will be implemented. In general, the algorithm tries all possible positions and heights of the two towers using the bisection method. The complexity of the algorithm for the discrete case is $O(n^4)$ time, where n is the complexity of the polyline. For the semi-continuous and the continuous case, the complexity of the algorithm is $O(n^4 + n^2 f)$ and $O(n^4 + n^3 f)$ time, respectively, where f is the time complexity of the bisection methods to compute the position and heights of the two towers.

We implement the algorithm using the Java programming language. The program receive the figure of the terrain created using the IPE Extensible Drawing Editor. Then, the program automatically add the two towers to the same figure. User can view the results using IPE.

The implementation are tested using terrain data that is available on the internet. The test is carried out with a parabolic, sine wave, random, and concave-shaped terrain. The results are then partially-verified using the implementation of an algorithm made by Agarwal, et al. Verification results show that the height and location of the second tower are optimal, while considering the height and the location of the first tower.

Keywords: Terrain Guarding, Computation Geometry, Visibility Algorithm, Watchtower

Skripsi ini dipersembahkan kepada Tuhan YME, keluarga, Pak Lionov selaku dosen pembimbing, Bu Heni dan Bu Natalia selaku dosen penguji dan teman-teman yang sudah menyemangati dalam proses penulisan skripsi.

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkar dan rahmat-Nya penulis telah berhasil menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul 'Menjaga Medan dengan Dua Menara'. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Maka, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

- Keluarga yang telah memberikan dukungan kepada penulis dalam bentuk doa dan nasehat agar dapat menyelesaikan penyusunan skripsi.
- Bapak Lionov, S.Kom., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak bimbingan dan bantuan selama proses penyusunan skripsi.
- Ibu Dr.rer.nat. Cecilia Esti Nugraheni, ST, MT dan Ibu Natalia, S.Si, M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan masukan untuk mengembangkan penyusunan skripsi.
- Segenap dosen yang telah memberikan ilmu selama proses perkuliahan sehingga penyusunan skripsi ini bisa selesai.
- Teman teman seperjuangan yang telah memberikan dukungan dan bantuan selama proses penyusunan skripsi.

Penulis berharap skripsi ini bisa berguna bagi pihak yang membutuhkan. Penulis juga menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis memohon maaf apabila terdapat kekurangan dan kesalahan pada hasil penyusunan skripsi ini.

Bandung, Januari 2022

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

DAFTAR KODE PROGRAM

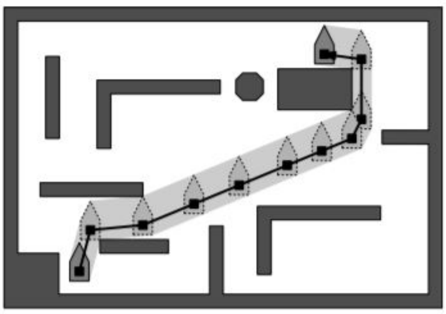
BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

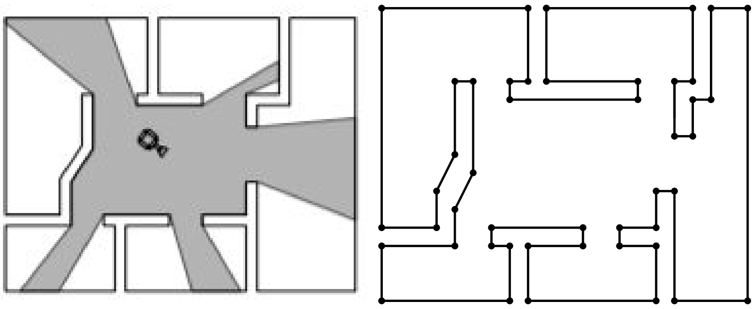
Komputasi geometri merupakan bidang dalam komputer yang muncul pertama kali pada tahun 1970, yang sesuai dengan namanya berhubungan dengan permasalahan yang mengandung lokasi, bentuk, dll. Pada awal perkembangan bidang ini, hampir seluruh solusi algoritmanya sulit untuk dimengerti dan diimplementasikan, serta membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencari solusinya [5]. Contoh sederhana yang bisa digunakan adalah menghitung luas dari poligon. Sebuah poligon bisa memiliki bentuk acak yang sulit untuk dihitung luasnya. Maka, bisa digunakan *triangulation* untuk membagi sebuah poligon menjadi beberapa segitiga. Luas dari segitiga bisa dihitung dengan menggunakan *cross product* dari kordinat titik yang membentuk setiap segitiga. Lalu setiap luas segitiga bisa ditambahkan, maka didapatkan luas dari sebuah poligon.

Contoh kasus masalah yang biasanya ditangani oleh komputasi geometri adalah masalah lokasi terdekat. Misal sekarang sedang berada di kampus, dan perlu untuk membuat panggilan telepon darurat tapi di saku tidak ada telepon genggam, maka perlu menggunakan telepon publik yang disediakan di area kampus. Di kampus ada banyak telepon publik yang tersedia, maka ingin dicari telepon publik yang terdekat. Namun, bagaimana bisa tahu telepon publik yang mana yang terdekat sekarang ini? Akan sangat membantu jika ada peta yang bisa menunjukkan lokasi telepon publik terdekat dimanapun lokasinya di kampus. Maka, peta harus dibagi secara daerah berdasarkan telepon publik yang tersedia[5]. Masalah lain yang bisa diselesaikan dengan komputasi geometri adalah *The Art Gallery Problem*.



Gambar 1.1: Contoh mencari jalur terdekat[5]

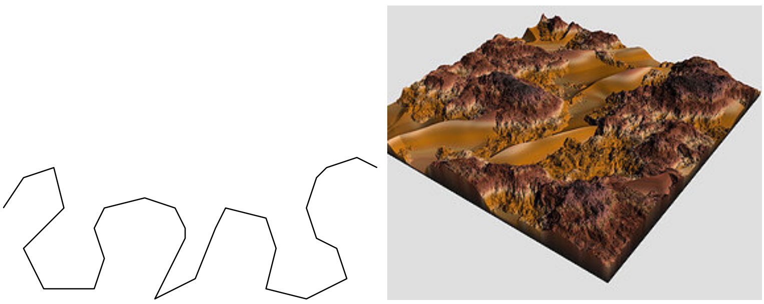
Pada permasalahan *art gallery problem* bayangkan ada sebuah museum seni. Sebuah museum tentunya merupakan sebuah ruang 3 dimensi, tapi informasi pada denah museum sudah cukup untuk penempatan kamera jaga. Maka, museum di desain sebagai daerah dengan bentuk poligon. Masalah dibatasi secara lebih lanjut untuk daerah dengan bentuk poligon simpel yang tertutup. Maka, poligon yang terbuka atau berlubang tidak diizinkan. Letak kamera pada museum berhubungan dengan titik di poligon. Sebuah kamera bisa melihat beberapa titik pada poligon yang bisa dihubungkan dengan segmen terbuka dalam poligon[5]. Salah satu cara menyelesaikan *art gallery problem* dengan menggunakan pendekatan *graph coloring* walaupun hasilnya tidak optimal.



Gambar 1.2: Area museum terlihat oleh kamera[5] dan denah museum

Gambar 1.3: Contoh *Terrain*

Masalah *Terrain Guarding Problem* menurut Agarwhal, dkk.[2] terdapat sebuah medan T polihedral pada grafik R^d. Grafik merupakan fungsi linear yang kontinu. Maka, medan pada grafik R^2 adalah sebuah rantai poligonal yang monoton pada sumbu x, berarti medan 1.5D[1] (Gambar 1.3). Sementara pada grafik R^3 memiliki permukaan polihedral yang monoton pada sumbu x dan y[2]. Maka, medan pada grafik R^2 tidak berbentuk poligon dan nilai sumbu x harus terus bertambah besar (Gambar 1.4). Medan berbentuk *polyline* terdiri dari *vertex*(titik) dan *edge*(segmen garis) yang saling berhubungan.

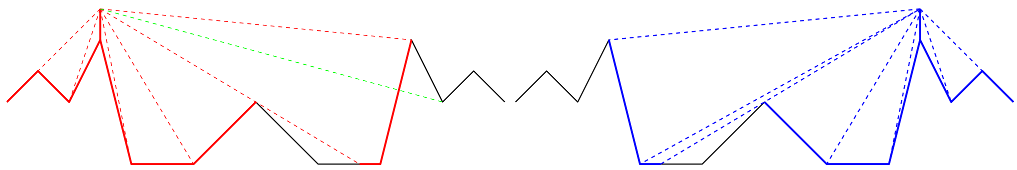


Gambar 1.4: Contoh Dimensi 2D dan 3D[2]

Menara adalah sebuah garis vertikal dengan dasar yang berada pada *vertex* atau *edge* medan. Semua daerah medan pasti bisa terlihat oleh satu menara. Namun dengan satu menara maka tinggi yang dibutuhkan bisa menjadi sangat besar. Jika hanya ada satu menara dengan tinggi tertentu maka menara tersebut dapat melihat beberapa *vertex* dan *edge* dari medan, dan ada bagian pada medan yang tidak terlihat juga. Pada Gambar 1.5 jika menara berwarna merah, maka garis putus-putus berwarna merah menunjukkan bagian *vertex* dan *edge* dari medan yang terlihat menara. Pada menara merah terlihat garis putus-putus berwarna hijau. Garis tersebut terbentuk dari puncak menara dan sebuah *vertex* yang menembus medan. Garis ini menunjukkan bahwa *vertex* tersebut tidak terlihat.

[1]Pada dimensi 1.5 nilai kordinat x atau y untuk himpunan titik tidak boleh sama. Pada kasus ini nilai kordinat x tidak boleh sama

[2]Sumber : https://www.cgtrader.com/3d-models/exterior/landscape/detailed-desert-model

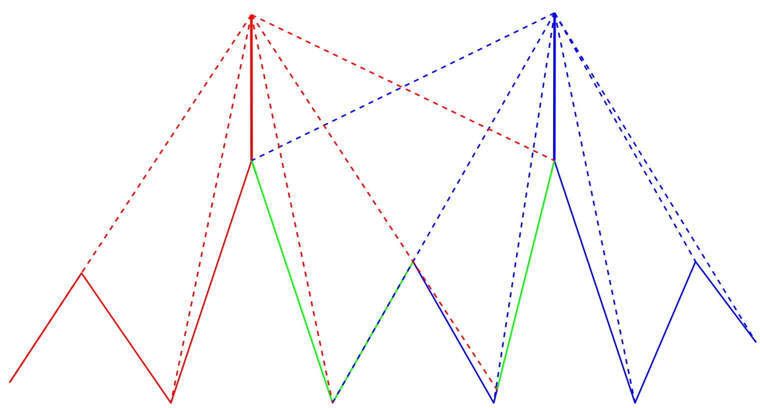


Gambar 1.5: Bagian medan yang terlihat menara

Maka permasalahan yang ditemui adalah jumlah menara yang dibutuhkan dengan tinggi total paling kecil untuk melihat keseluruhan medan. Tentu jumlah menara yang diinginkan tidak sebanyak seluruh *vertex* medan dengan tinggi yang kecil. Oleh karena itu beberapa medan bisa memiliki jumlah menara jaga yang beragam, ada yang memiliki satu menara, ada yang dua, ada yang tiga, dan ada banyak lagi (Gambar 1.6).

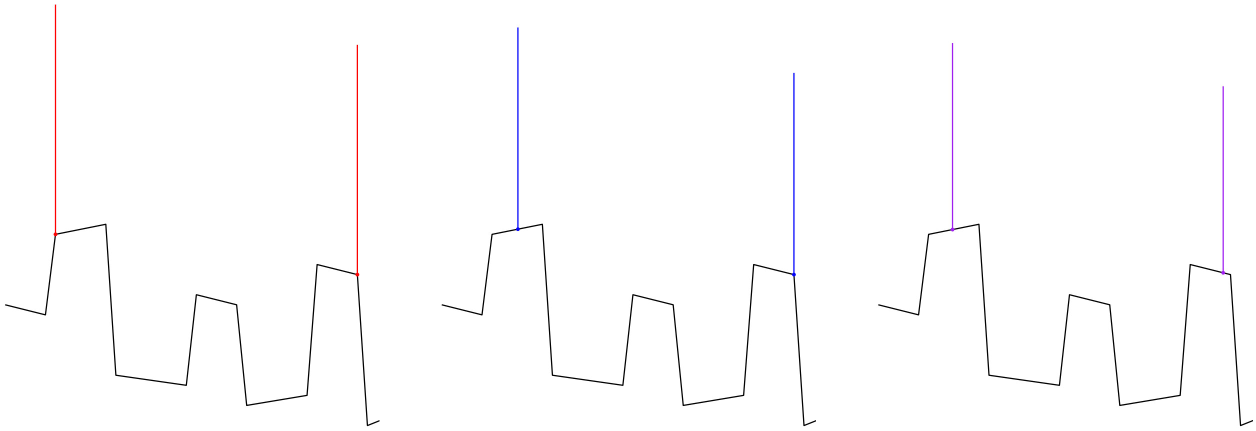
Gambar 1.6: Pada Gambar kiri dibutuhkan tiga buah menara untuk menjaga *terrain*; Gambar kanan membutuhkan satu buah menara untuk menjaga *terrain*

Pada skripsi ini ingin ditangani masalah medan pada grafik R^2 dalam 1.5D. Masalah bisa diselesaikan dengan satu menara. Namun, pada skripsi ingin dicari sebanyak dua menara jaga yang tingginya sama dan minimal serta bisa melihat keseluruhan medan. Pada Gambar 1.7 ditunjukkan kedua menara yang mampu 'melihat' keseluruhan medan. Warna merah pada medan menunjukkan *vertex* dan *edge* yang terlihat dari menara merah. Warna biru menunjukkan *vertex* dan *edge* yang terlihat dari menara biru. Warna hijau menunjukkan *vertex* dan *edge* yang terlihat oleh kedua menara. Ketika semua *vertex* dan *edge* bisa terlihat oleh setidaknya salah satu menara jaga, baru bisa dibilang kedua menara bisa 'menjaga' medan.



Gambar 1.7: Medan dengan dua menara jaga

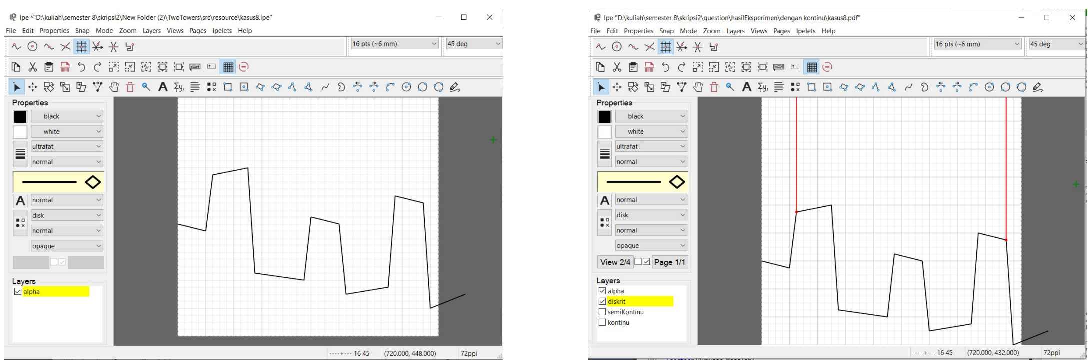
Penempatan kedua menara terbagi dalam tiga buah kasus berbeda. Ketiga kasus tersebut adalah kasus diskrit ketika kedua menara terletak pada *vertex*. Kasus semi-kontinu ketika salah satu menara terletak pada *vertex* dan menara yang lain terletak pada *edge*. Terakhir kasus kontinu ketika kedua menara berada di *edge* (Gambar 1.8).



Gambar 1.8: Contoh Kasus Diskrit, Semi-Kontinu dan Kontinu

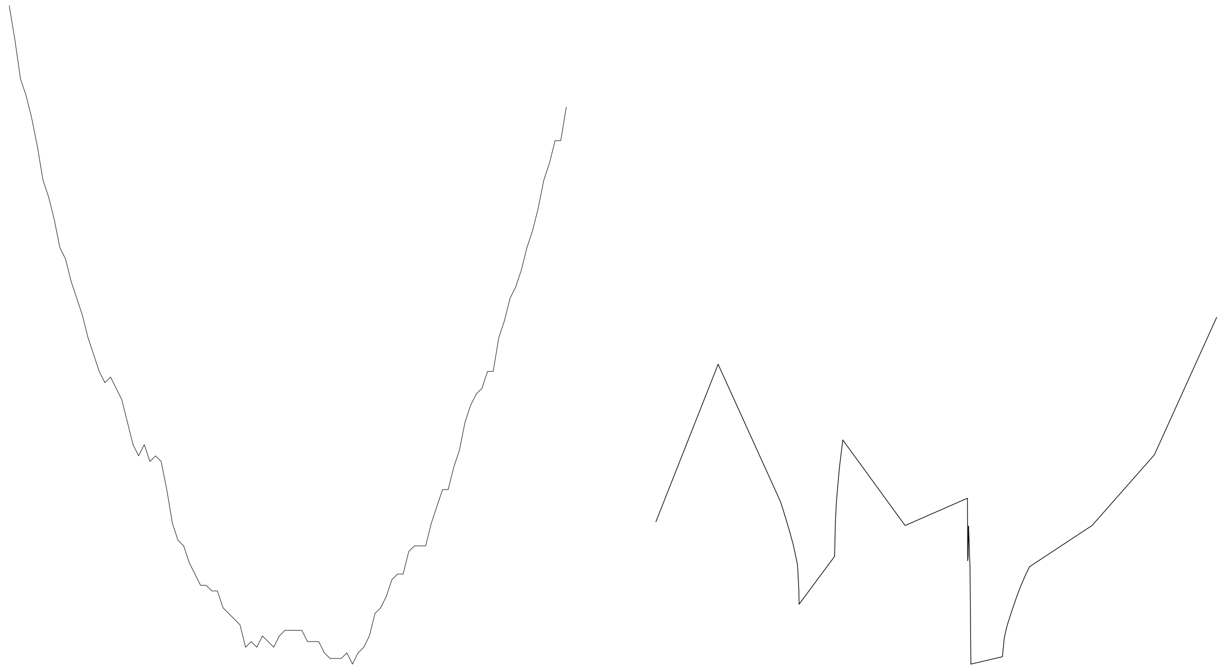
Pada skripsi ini masalah *Terrain Guarding Problem* menggunakan dua menara jaga yang tingginya sama dan minimal akan diselesaikan dengan menggunakan algoritma karya Sergei Bespamyatnikh, dkk. Algoritma yang digunakan untuk kasus diskrit memiliki kompleksitas waktu sebesar $O(n^4)$ dan kompleksitas untuk kasus kontinu sebesar $(O(n^4 + n^3 f_3)$. Pada kompleksitas waktu n adalah banyak *vertex* pada medan dan f_3 adalah lama waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan rumus kubik spesial dengan kondisi ringan dan tiga variabel terikat maka untuk kasus semi-kontinu dengan dua variabel terikat karena nilai kedua variabel tersebut tidak diketahui memiliki kompleksitas $(O(n^4 + n^2 f_3)$.

Perangkat lunak membutuhkan medan yang menjadi masukan untuk dicari letak dan tinggi dari kedua menara. Medan yang menjadi masukan perlu dibuat oleh pengguna. Sulit bagi pengguna untuk membayangkan wujud medan jika dibuat melalui nilai kordinat x dan y untuk titiknya saja. Oleh karena itu, dapat digunakan aplikasi IPE untuk membuat medan yang mempermudah pengguna dalam membuat medan dan melihat hasilnya melalui aplikasi IPE. Maka, setelah pengguna membuat medan, perangkat lunak akan membaca file masukan, yang lalu diproses menjadi himpunan *vertex* dan *edge* yang membentuk medan. Setelah itu, perangkat lunak akan menggunakan himpunan tersebut untuk mencari tinggi dan letak kedua menara untuk ketiga kasus diskrit, semi-kontinu dan kontinu. Terakhir, hasil kedua menara dan tingginya akan diproses lagi oleh perangkat lunak ke dalam bentuk file ipe yang bisa dibaca dan dilihat oleh pengguna melalui aplikasi IPE (Gambar 1.9).

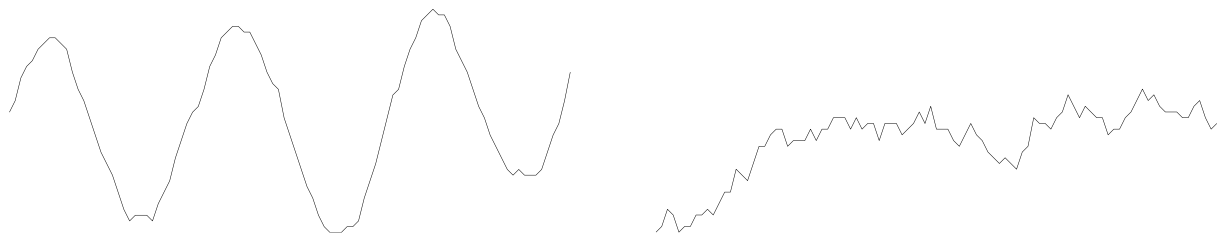


Gambar 1.9: Masukan dan Keluaran IPE

Hasil eksperiman akan diperiksa secara parsial hasilnya dengan algoritma karya Agarwhal, dkk. Eksperimen dilakukan menggunakan beberapa *terrain* buatan dan *terrain* dari proyek *Terrain Guarding Project*[6] dari *Max-Planck Institut Informatik* karya Stephan Friedrichs, Michael Hemmer dan Christiane Schmidt. Proyek berisi dengan berbagai macam *terrain* dengan bentuk parabola, konkaf (Gambar 1.10), gelombang sinus dan acak (Gambar 1.11).



Gambar 1.10: Gambar Medan parabola dan konkaf[6]



Gambar 1.11: Gambar Medan gelombang sinus dan acak[6]

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang ingin diselesaikan oleh skripsi ini adalah:

- Bagaimana cara kerja algoritma yang dibuat oleh Sergei Bespamyatnikh dkk. untuk menyelesaikan masalah *Terrain Guarding Problem*?
- Bagaimana mengimplementasikan algoritma yang dibuat oleh Sergei Bespamyatnikh dkk. untuk menyelesaikan masalah *Terrain Guarding Problem*?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang sudah diuraikan, maka tujuan yang ingin dicapai oleh skripsi ini adalah:

- Memahami cara kerja algoritma yang dibuat oleh Sergei Bespamyatnikh dkk. untuk menyelesaikan *terrain guarding problem* dengan dua menara.
- Mengimplementasikan algoritma yang dibuat oleh Sergei Bespamyatnikh dkk. untuk menyelesaikan masalah *terrain guarding problem.*

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah untuk skripsi ini adalah pembatasan lama waktu jalannya eksperimen. Seperti eksperimen yang membutuhkan lama waktu lebih dari lima jam untuk satu kasus belum tentu jawaban kedua menara ditemukan, karena lama waktu yang dibutuhkan untuk mencari solusinya kurang bagus.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam menyusun skripsi ini adalah :

- Melakukan studi literatur mengenai komputasi geometri.
- Melakukan studi literatur terhadap paper *On The Planar Two-Watchtower Problem* karya Sergei Bespamyatnikh, dkk. [1]
- Melakukan studi literatur terhadap paper *Guarding a Terrain by Two Watchtower* karya Pankaj K. Agarwal, Sergey Bereg, Ovidiu Daescu, dkk.[2]
- Melakukan analisis masalah dan pengujian dengan contoh kasus sederhana untuk mendapatkan gambaran tentang proses algoritma menyelesaikan masalah.
- Melakukan perancangan implementasi algoritma yang dibuat.
- Melakukan pengujian fungsional dan eksperimental pada algoritma yang sudah diimplementasi.
- Melakukan analisis hasil dari eksperimen yang didapatkan.
- Menarik kesimpulan berdasarkan hasil eksperimen.

1.6 Sistematika Pembahasan

Laporan skripsi tersusun secara sistematis dalam 6 bab seperti berikut :

- Bab 1 Pendahuluan
  Membahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi dan sistematika pembahasan
- Bab 2 Dasar Teori
  Membahas dasar teori mengenai aplikasi IPE, komputasi geometri, permasalahan *art gallery*, cara kerja algoritma Sergei Bespamyatnikh, dkk dan cara kerja algoritma Agarwhal, dkk secara parsial.
- Bab 3 Analisis Masalah
  Membahas analisis masalah yang ditemukan dan solusinya untuk ketiga kasus, studi kasus untuk ketiga kasus diskrit, semi-kontinu dan kontinu serta analisis untuk perangkat lunak.
- Bab 4 Perancangan
  Membahas perancangan antarmuka dan cara menggunakannya serta membahas diagram DFD untuk kasus diskrit dan semi-kontinu.
- Bab 5 Implementasi dan Pengujian
  Membahas implementasi dari algoritma, pengujian fungsional, pengujian eksperimental dan hasil dari eksperimen yang dilakukan.

- Bab 6 Kesimpulan dan Saran
  Membahas kesimpulan yang bisa ditarik dari skripsi beserta saran bagi pengguna yang ingin mengembangkan skripsi ini.