

Penerapan *Force-Directed Graph Drawing Algorithm* untuk Visualisasi Intuitif Graf dalam Ruang Tiga Dimensi

Fakih Anugerah Pratama - 13521091¹
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
¹13521091@std.stei.itb.ac.id

Abstract—Dewasa ini, sudah banyak dikembangkan cara melakukan visualisasi pada graf baik untuk tujuan edukasi maupun pemanfaatan secara profesional. Seluruh orang yang pernah dan sedang mendalami ilmu Diskrit graf pasti mengetahui visualisasi graf dasar dalam sebuah bidang seperti yang banyak kita gunakan. Namun, ternyata banyak visualisasi terhadap graf yang lebih jarang digunakan tapi memiliki banyak kelebihan dibanding penggambaran graf secara bidang yang sering digunakan.

Keywords—Graph, Visualization, Force-Directed, Algorithm

I. PENDAHULUAN

Konsep graf dan turunannya merupakan salah satu cabang ilmu dalam Matematika Diskrit yang sangatlah bermanfaat karena banyak kegunaan dan aplikasinya dapat kita rasakan secara langsung dalam kehidupan sehari-hari. Dengan besarnya manfaat yang diberikannya, tentu saja sudah menjadi kewajiban kita untuk mengajarkannya kepada orang lain yang juga ingin mendalami konsep graf. Salah satu metode pengajaran graf yang sering digunakan adalah pengajaran menggunakan visualisasi langsung sehingga dapat mempermudah membangun pemahaman akan graf dan cirinya.

Visualisasi berasal dari kata *visual* yang berarti rangsangan melalui penglihatan. Dengan visualisasi yang baik dan mudah dipahami, diharapkan setiap orang yang mempelajari graf akan lebih cepat memahami konsep dasar graf.

Salah satu visualisasi yang paling banyak digunakan saat ini adalah penggunaan visualisasi graf dalam sebuah bidang, sehingga timbullah sub-konsep graf planar dan non-planar. Graf planar berarti setiap sisi yang ada dalam graf dapat digambarkan sedemikian rupa sehingga tidak ada sisi yang saling tumpang tindih. Untuk sebagian orang yang belum begitu memahami konsep graf, berbagai konsep dan sub-konsep yang ada dalam berbagai jenis graf mungkin akan membuat orang tersebut *overwhelmed* dan kesulitan untuk memahami konsep lebih lanjut.

Salah satu solusinya adalah penggunaan alternatif visualisasi menggunakan graf yang divisualisasikan dalam ruang tiga dimensi sehingga mengeliminasi masalah sisi bertumpang tindih yang dapat membuat rumit sebuah graf. Selain itu, simpul

juga dapat diberikan tingkah-laku tertentu seperti adanya direksi berdasar gaya sehingga graf terlihat lebih dinamis dan interaktif. Dengan lebih interaktifnya graf, diharap pembelajaran dan pemahaman konsep graf dapat berjalan lebih lancar dan singkat.

II. TEORI DASAR

A. GRAF

Graf adalah sebuah konsep mengenai representasi objek-objek Diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut. Graf dapat didefinisikan sebagai sebuah tuple $G = (V, E)$ dengan V adalah himpunan tidak-kosong simpul-simpul graf (*vertices*) dan E adalah himpunan sisi yang menghubungkan simpul-simpul (*edges*).

$$V = \text{himpunan tidak-kosong vertices} \\ = \{ v_1, v_2, \dots, v_n \}$$

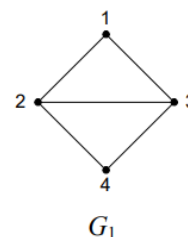
$$E = \text{himpunan edges} \\ = \{ e_1, e_2, \dots, e_n \}$$

B. Jenis Graf

Pembagian jenis graf secara umum ada dua, yaitu pembagian yang didasarkan ada tidaknya gelang dan sisi ganda pada suatu graf, yaitu :

1. Graf Sederhana

Graf yang tidak mengandung *loop* (gelang) maupun sisi ganda.



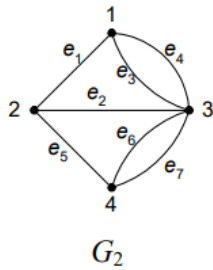
Gambar 2.1 Graf Sederhana
Sumber: Diktat Kuliah Graf

2. Graf Tak-Sederhana

Graf yang mengandung *loop* dan/atau sisi ganda.

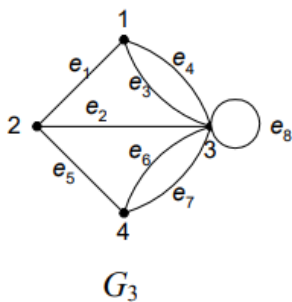
Terbagi menjadi :

- a. Graf Ganda
Graf yang mengandung sisi ganda



Gambar 2.2 Graf Ganda
Sumber: Diktat Kuliah Graf

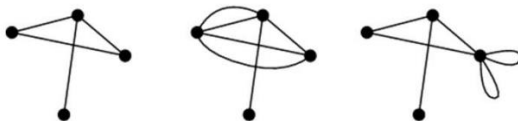
- b. Graf Semu
Graf yang mengandung gelang



Gambar 2.3 Graf Semu
Sumber: Diktat Kuliah Graf

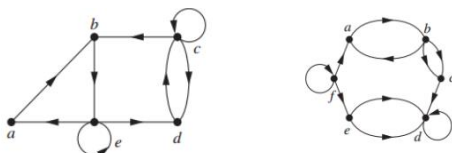
Dan Pembagian yang didasarkan orientasi arah pada sisi graf, yaitu :

1. Graf tak-berarah
Graf yang tidak memiliki orientasi arah



Gambar 2.4 Graf tak-berarah
Sumber: Diktat Kuliah Graf

2. Graf berarah
Graf yang memiliki orientasi arah

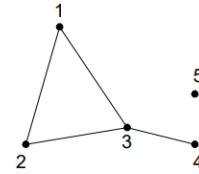


Gambar 2.5 Graf berarah
Sumber: Diktat Kuliah Graf

C. Terminologi Graf

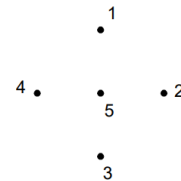
1. Ketetanggaan (*adjacency*)
Dua buah simpul dikatakan *adjacent* jika keduanya terhubung secara langsung oleh sisi.

2. Bersisian (*indicency*)
Sebuah sisi e dikatakan bersisian dengan simpul v_i dan v_j jika sisi e memenuhi $e = (v_i + v_j)$
3. Simpul Terpencil (*isolated*)
Sebuah simpul dikatakan terisolasi jika simpul tersebut tidak terhubung dengan simpul manapun oleh sisi apapun.



Gambar 2.6 Graf dengan simpul terpencil
Sumber: Diktat Kuliah Graf

4. Graf Kosong
Graf yang himpunan sisi E-nya adalah himpunan kosong.



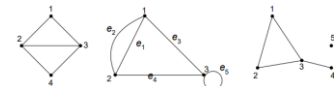
Gambar 2.7 Graf kosong
Sumber: Diktat Kuliah Graf

5. Derajat
Derajat suatu simpul menandakan banyak sisi yang bersisian dengan simpul tersebut.

Perhatikan G_1 , $d(1) = d(4) = 2$
 $d(3) = d(2) = 3$

6. Lintasan
Lintasan yang panjangnya n dari simpul awal v_0 menuju simpul akhir v_n dalam graf G adalah barisan selang-seling simpul dan sisi sedemikian sehingga terbentuk sebuah lintasan

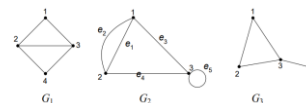
Panjang lintasan adalah jumlah sisi dalam lintasan tersebut. Lintasan 1, 2, 4, 3 pada G_1 memiliki panjang 3.



Gambar 2.8 Lintasan
Sumber: Diktat Kuliah Graf

7. Sirkuit
Sirkuit adalah sebuah lintasan yang berawal dan berakhir di simpul yang sama

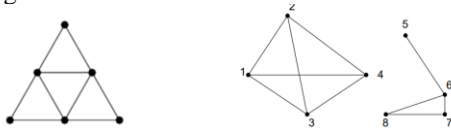
Panjang sirkuit adalah jumlah sisi dalam sirkuit tersebut. Sirkuit 1, 2, 3, 1 pada G_1 memiliki panjang 3.



Gambar 2.9 Sirkuit
Sumber: Diktat Kuliah Graf

8. Keterhubungan
Dua buah simpul disebut terhubung jika ada lintasan yang menghubungkan mereka. Sebuah graf

disebut tidak terhubung jika ada simpul yang tidak terhubung dengan suatu simpul dalam sebuah graf yang sama

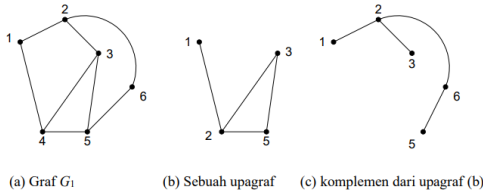


Gambar 1.10 Graf yang terhubung dan tidak terhubung

Sumber: Diktat Kuliah Graf

9. Upagraf (subgraph)

Misalkan $G = (V, E)$ adalah sebuah graf. $G_1 = (V_1, E_1)$ adalah upagraf (subgraph) dari G jika $V_1 \subseteq V$ dan $E_1 \subseteq E$

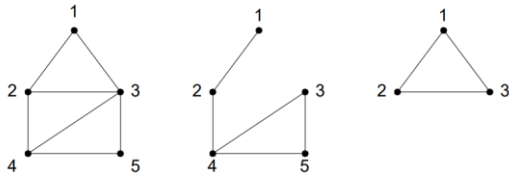


Gambar 2.11 Upagraf

Sumber: Diktat Kuliah Graf

10. Upagraf Merentang (spanning subgraph)

Upagraf $G_1 = (V_1, E_1)$ dari $G = (V, E)$ dikatakan upagraf rentang jika $V_1 = V$ (yaitu G_1 mengandung semua simpul dari G).



Gambar 2.12 Upagraf merentang

Sumber: Diktat Kuliah Graf

11. Cut-Set

Cut-Set sebuah graf terhubung adalah himpunan sisi yang jika sisi yang berkorespondensi dengan graf dibuang, maka graf tersebut menjadi sebuah graf yang tidak terhubung. Dapat juga diambil kesimpulan bahwa cut-set selalu membagi graf menjadi dua komponen

12. Graf berbobot

Graf berbobot adalah graf yang setiap sisinya diberi sebuah harga (bobot).

13. Graf lengkap

Graf lengkap ialah graf sederhana yang setiap simpulnya mempunyai sisi ke semua simpul lainnya. Graf lengkap dengan n buah simpul dilambangkan dengan K_n . Jumlah sisi pada graf lengkap yang terdiri dari n buah simpul adalah $n(n-1)/2$.

14. Graf lingkaran

Graf lingkaran adalah graf yang setiap simpulnya memiliki derajat 2, disimbolkan dengan C_n untuk graf dengan n banyak simpul.

15. Graf teratur

Graf yang memiliki simpul-simpul dengan jumlah derajat yang sama satu sama lainnya disebut juga

degan graf teratur. Apabila derajat setiap simpul adalah r , maka graf tersebut disebut sebagai graf teratur derajat r . Jumlah sisi pada graf teratur adalah $n.r/2$.

16. Graf bipartite

Graf G yang himpunan simpulnya dapat dipisah menjadi dua himpunan bagian V_1 dan V_2 , sedemikian sehingga setiap sisi pada G menghubungkan sebuah simpul di V_1 ke sebuah simpul di V_2 disebut graf bipartite dan dinyatakan sebagai $G(V_1, V_2)$.

D. Representasi Graf

1. Matriks Ketetanggaan (*adjacency matrix*)

$$A = [a_{ij}]$$

$a_{ij} = 1$ jika simpul i dan j bertetangga dalam graf

$a_{ij} = 0$ jika simpul i dan j tidak bertetangga dalam graf

2. Matriks bersisian (*incidence matrix*)

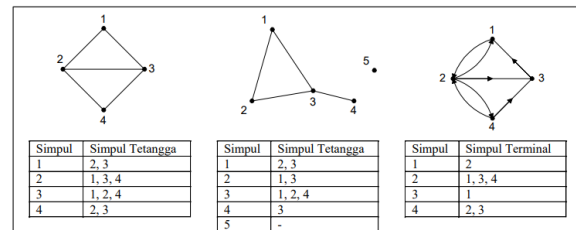
$$A = [a_{ij}]$$

$a_{ij} = 0$ jika simpul i bersisian dengan sisi j dalam graf

$a_{ij} = 0$ jika simpul i tidak bersisian dengan sisi j dalam graf

3. Senarai Ketetanggaan (*adjacency list*)

Digunakan untuk mendaftar semua simpul yang bertetangga dengan simpul tertentu. Baik digunakan untuk graf dengan simpul berderajat tinggi yang banyak.



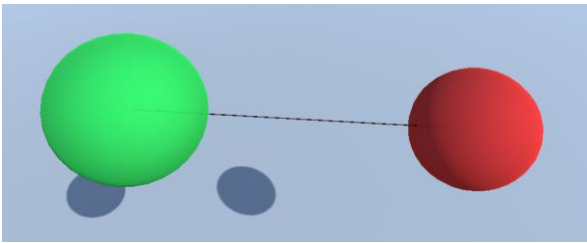
Gambar 2.13 Senarai Ketetanggaan

Sumber: Diktat Kuliah Graf

E. Force-Directed Graph

Visualisasi graf terdirediksi gaya menggunakan nilai *arbitrary* antara dua buah simpul sebagai nilai gaya tarik-menarik dan/atau tolak-menolak yang akan diberikan pada setiap hubungan antara dua simpul dalam sebuah graf. Graf yang bertetanggaan akan diberikan gaya positif sehingga kedua simpul ini akan tarik-menarik. Sedangkan, simpul yang tidak bertetanggaan akan diberikan nilai negatif sehingga akan timbul gaya tolak-menolak antara dua buah simpul. Selanjutnya, graf akan divisualisasikan dalam sebuah ruang tiga dimensi sehingga pengamat dapat mengamati graf dengan lebih baik melalui penerapan konsep *Force-Directed Graph Visualization* ini.

Dengan diberikannya nilai dinamis untuk setiap hubungan antara dua simpul dalam graf ini, diharapkan setiap simpul akan berinteraksi secara unik dengan keadaan simpul lain dalam graf yang juga berubah-ubah sehingga graf terlihat lebih *fluid* dan memudahkan pengamat untuk menganalisis graf.



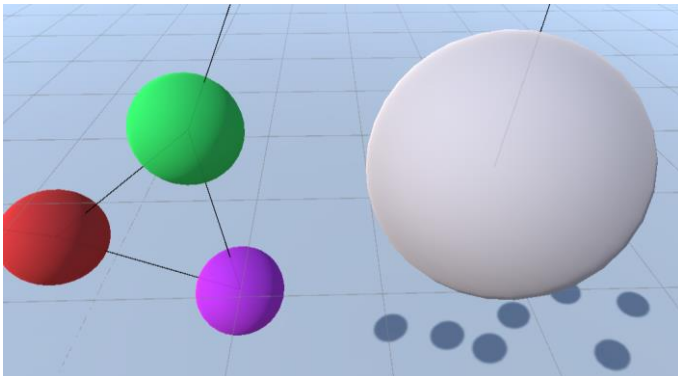
Gambar 2.14 Dua simpul yang terhubung

Sumber: Personal

Dalam penerapannya, simpul dalam graf dapat dianggap sebagai sebuah cincin logam dan sisi-sisinya akan dianggap sebagai pegas dengan konstanta tertentu sehingga akan terjadi gaya tarik-menarik antara simpul yang terhubung. Gaya yang dihasilkan oleh pegas dapat dihitung sebagai

$$F = k * d,$$

dengan d adalah panjang dari pegas dan k adalah konstanta. Perhatikan juga bahwa pegas tidak akan menghasilkan gaya jika $k = 0$.



Gambar 2.15 Simpul yang tidak terhubung

Sumber: Personal

Selanjutnya, diberikan juga sebuah gaya tolak-menolak semu untuk dua buah simpul yang tidak terhubung, dihitung sebagai

$$F = k/d^2.$$

Dengan k konstan dan d jarak antara dua buah simpul. Kedua nilai konstan ini dapat ditentukan secara manual melalui percobaan yang dilakukan.

Beberapa cara yang lain adalah dengan menentukan nilai konstanta secara dinamis yaitu dengan mengubah graf menjadi sebuah *weighted graph* yang memiliki berat simpul yang berbeda-beda. Dengan memanfaatkan berat antara 2 simpul, graf dapat dibuat sedemikian sehingga panjang sisi serta gaya yang dihasilkan dapat berubah-ubah sesuai dengan property atau nilai dari berat simpul tersebut.

III. PENERAPAN *FORCE-DIRECTED GRAPH DRAWING ALGORITHM* UNTUK VISUALISASI INTUITIF GRAF DALAM RUANG TIGA DIMENSI

A. Graf

Terlebih dahulu, disiapkan data yang akan divisualisasikan dalam graf, berupa simpul-simpul yang

dihubungkan dengan sisi yang dapat disajikan dalam matriks *adjacency* seperti berikut :

	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	1	0	1	0	1
2	0	0	1	1	0	0	0
3	1	1	0	0	1	0	0
4	0	1	0	0	0	1	0
5	1	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0

Sumber: Personal

Tabel 3.1 *Adjacency Matrix*

Dengan persamaan graf G

$$G = (V, E)$$

$$V = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$$

$$E = \{(1,3), (1,5), (1,7), (2, 3), (2, 4), (3, 5), (4, 6)\}$$

Dapat direpresentasikan juga menjadi senarai ketetanggaan

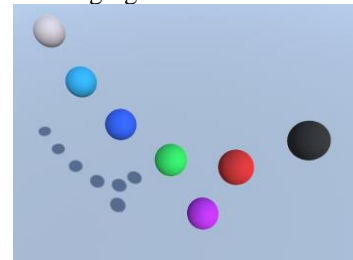
1	3, 5, 7
2	3, 4
3	1, 2, 5
4	2, 6
5	1, 3
6	4
7	1

Tabel 3.2 *Adjacency List*

Sumber: Personal

B. Tahapan

Pertama-tama, setiap simpul akan diletakkan di posisi sembarang dalam ruang tiga dimensi.

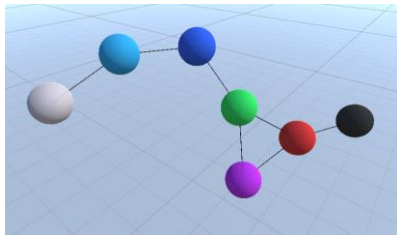


Gambar 3.3 Simpul

Sumber: Personal

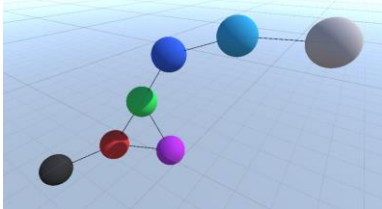
Disini, posisi awal simpul tidak begitu mempengaruhi hasil akhir graf yang akan digambar.

Selanjutnya, untuk setiap simpul, dilakukan penghitungan besar gaya yang akan dihasilkan untuk hubungannya dengan setiap simpul yang lain. Untuk simpul yang bertetangga, gaya yang terjadi adalah tarik-menarik. Sedangkan, jika kedua simpul tidak bertetangga, gaya yang terjadi adalah tolak-menolak.



Gambar 3.4 Simpul yang terhubung membentuk graf
Sumber: Personal

Simulasi dijalankan sehingga graf terdiksi gaya yang dihasilkan sudah stabil dan teratur dengan adanya gaya antar simpul yang terjadi. Selama simulasi belum dihentikan, simpul dapat selalu bergerak dan mempengaruhi Gerakan yang lain.

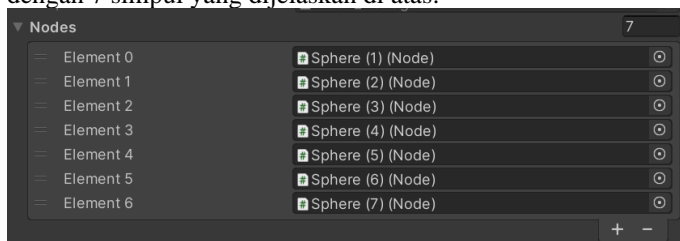


Gambar 3.5 Graf yang digerakkan
Sumber: Personal

Selain itu, graf yang telah dibuat termasuk intuitif karena kita bisa memindahkan setiap simpul menuju kearah manapun dan graf terdiksi akan menyesuaikan.

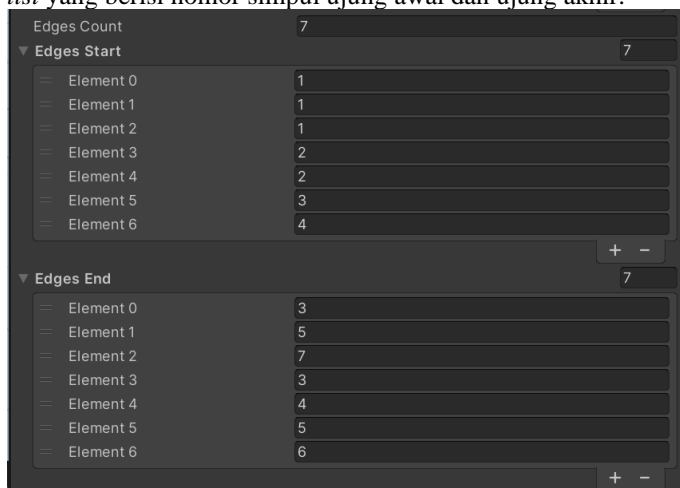
C. Program Simulasi

Untuk program simulasi yang dibuat, graf dibuat statis mengikuti graf yang telah dibahas dalam bab ini yaitu graf dengan 7 simpul yang dijelaskan di atas.



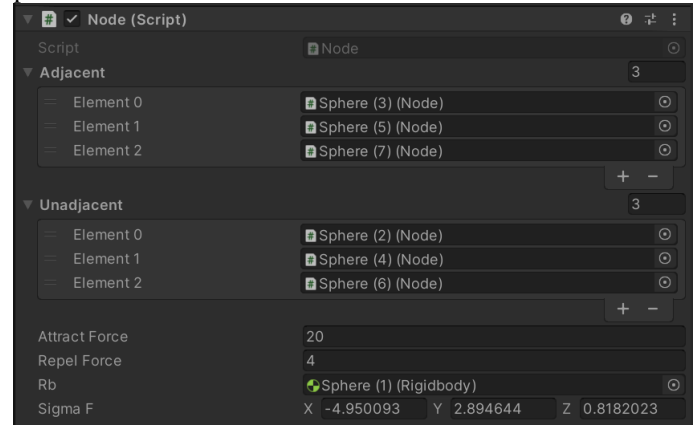
Gambar 3.6 Daftar simpul yang berada dalam simulasi
Sumber: Personal

Hubungan ketetangaan dua simpul disimpan dalam sebuah list yang berisi nomor simpul ujung awal dan ujung akhir.

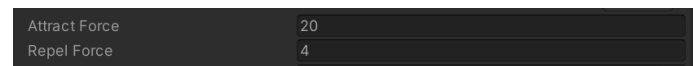


Gambar 3.7 Daftar sisi dan simpul yang terhubung
Sumber: Personal

Dalam setiap simpul akan diberikan data mengenai simpul yang bertetangaan dan tidak. Selain itu, juga terdapat dua konstanta yang merupakan konstanta yang digunakan dalam persamaan gaya tarik-menarik pegas dan tolak-menolak partikel.

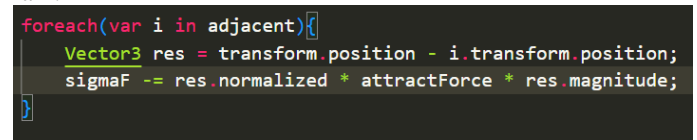


Gambar 3.8 Data yang disimpan dalam sebuah simpul
Sumber: Personal

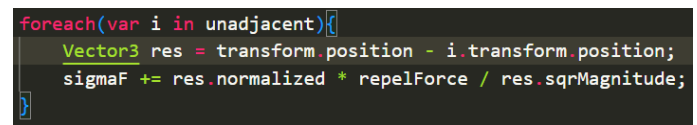


Gambar 3.9 Konstan yang digunakan dalam persamaan
Sumber: Personal

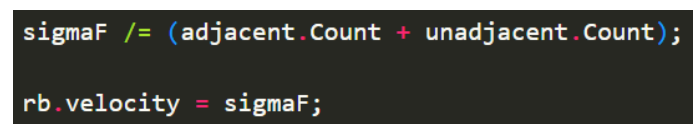
Dalam setiap Update, simulasi akan menghitung besar gaya yang ditimbulkan pada sebuah simpul oleh semua simpul lain.



Gambar 3.10 Kalkulasi gaya tarik-menarik
Sumber: Personal



Gambar 3.11 Kalkulasi gaya tolak-menolak
Sumber: Personal



Gambar 3.12 Kalkulasi rata-rata gaya yang diterima
Sumber: Personal

IV. KESIMPULAN

Dalam penerapannya, seringkali visualisasi graf dalam bentuk sebuah bidang menimbulkan kesulitan dalam pemahamannya. Dengan digunakannya pendekatan *Force-Directed Graph Drawing Algorithm*, pelajar maupun peneliti dapat memahami sebuah graf dengan lebih baik karena disajikan dalam bentuk yang lebih intuitif. Berdasarkan penerapan, dapat dilihat graf juga menjadi lebih dinamis sehingga lebih mudah dalam penggunaannya.

V. LAMPIRAN

Source Code yang digunakan dalam penerapan *Force-Directed Graph Drawing Algorithm* dapat diakses melalui <https://github.com/fakihap/Force-Directed-Graph-Algorithm>

Simulasi juga dapat dijalankan secara langsung melalui pranala berikut

<https://simmer.io/@fakihap/force-directed-graph-algorithm>

VI. UCAPAN TERIMAKASIH

Saya sebagai penulis mengucapkan puji syukur pada Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat-Nya makalah ini dapat disusun dengan baik dan diselesaikan tepat waktu. Saya juga bersyukur kepada Ibu Dr. Nur Ulfa Maulidevi, S.T., M.Sc. selaku pengampu mata kuliah Matematika Diskrit kelas K1 Teknik Informatika karena telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat sehingga saya dapat menyelesaikan makalah ini dengan baik.

REFERENCES

- [1] S G, Kobourov. 2013. *Force-directed drawing algorithms*. Diakses melalui pranala <https://cs.brown.edu/people/rtamassi/gdhandbook/chapters/force-directed.pdf> pada tanggal 12 Desember 2022.
- [2] Moo ICT. 2022. *Unity 3D Tutorial – How to Drag and Drop Objects Using Touch Controls with C#*. [Unity 3D Tutorial – How to Drag and Drop Objects Using Touch Controls with C# | Moo ICT – Project Based Tutorials](https://mooict.com/unity-3d-tutorial-how-to-drag-and-drop-objects-using-touch-controls-with-c/) pada Tanggal 12 Desember 2022
- [3] Munir, Rinaldi. 2020. *Graf (Bag. 1)*. Diakses melalui pranala <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf> pada Tanggal 10 Desember 2022
- [4] Munir, Rinaldi. 2020. *Graf (Bag. 2)*. Diakses melalui pranala <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian2.pdf> pada Tanggal 11 Desember 2022
- [5] Brackeys. 2017. *How to Simulate Gravity in Unity*. YouTube. Diakses melalui pranala https://www.youtube.com/watch?v=Ouu3D_VHx9o pada 12 Desember 2022

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 12 Desember 2022



Fakih Anugerah Pratama
13521091