

# Aplikasi Graf Hamilton Pada Sistem Lintasan Pengairan Sawah

Fahrian Afdholi - 13521031<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

<sup>1</sup>13521031@stei.itb.ac.id

**Abstract**—Di dunia pertanian kita harus menghemat segala hal dan membuatnya menjadi seefektif mungkin dan mendapatkan hasil yang maksimal dalam membudidayakan suatu tanaman salah satunya tanaman padi. Dengan kemajuan ilmu pengetahuan kita bisa mengetahui seberapa efektif sistem pengairan dalam menanam tanaman padi agar mendapatkan hasil yang maksimal dengan teori graf.

**Keywords**—Sawah, Graf, lintasan, perairan, efektifitas.

## I. PENDAHULUAN



Gambar 1. Gambar sawah yang dipotret oleh kanokari

Lahan sawah merupakan salah satu ciri kehidupan masyarakat tradisional yang umum dijumpai di beberapa negara yang sebagian besar penduduknya mengonsumsi beras sebagai makanan pokoknya, seperti di Asia (Asia Tenggara, Asia Selatan, dan Asia Timur). Lahan sawah yang merupakan ciri kehidupan masyarakat tradisional sudah ada sejak zaman purba. Bukti-bukti bahwa lahan sawah sudah ada sejak zaman purba menurut Rostam dan Anuar (1984) telah dikaji oleh ahli arkeologi yang menginformasikan bahwa pertanian lahan sawah dengan tanaman utamanya padi dimulai di India dan Cina lebih dari 1.000 tahun yang lalu sebelum Masehi. Kegiatan pertanian lahan sawah dengan tanaman pokok padi mulai dikembangkan ke kawasan Asia lainnya, termasuk ke Indonesia. Karena beberapa negara Asia merasa beras cocok sebagai makanan pokok, perkembangan lahan sawah di negara-negara Asia cukup pesat. Lahan pertanian yang berupa lahan sawah biasanya dicirikan oleh adanya pematang yang mengelilinginya dengan maksud untuk membatasi antara bidang lahan sawah satu dan bidang

sawah lainnya. Di samping itu, pematang lahan dibuat juga untuk tujuan mencegah keluar masuknya air secara berlebihan sehingga kondisi air dapat diatur sesuai dengan kebutuhan. Ciri lain lahan sawah ialah jenis tanaman yang ditanam pada lahan sawah biasanya tanaman pokok padi pada musim hujan dan tanaman palawija (kacang-kacangan, jagung, umbi-umbian), sayuran (kacang panjang, sawi, lombok dan bawang merah), maupun buah-buahan (melon, pepaya dan semangka) dan tanaman lainnya. Keberadaan lahan sawah memiliki banyak fungsi, baik untuk kehidupan manusia maupun lingkungan. Fungsi lahan sawah bagi kehidupan manusia selain sebagai penghasil bahan pangan, juga merupakan salah satu sumber pendapatan, tempat bekerja, tempat rekreasi, tempat mencari ilmu, dan lain sebagainya. Fungsi lahan sawah bagi lingkungan dapat dilihat dari fungsi lahan sawah sebagai tempat hidup berbagai tumbuhan, tempat berkembang biak berbagai organisme hidup seperti cacing, berbagai serangga, burung, belut, ular, dan organisme lainnya, berperan dalam mencegah terjadinya banjir, erosi, maupun tanah longsor. Meskipun demikian, jika tidak dikelola dengan baik, lahan sawah juga dapat menimbulkan dampak negatif terhadap manusia dan lingkungan, seperti pencemaran air, tanah, dan udara akibat penggunaan bahan kimia dan mekanisasi pertanian<sup>[1]</sup>. Dalam pertanian kita harus bisa seefektif mungkin agar perairan yang digunakan diterima oleh padi maksimal dan bisa tumbuh dengan baik. Di dalam makalah ini akan membahas tentang pengaplikasian teori graf pada pengairan sawah.

## II. TEORI DASAR

### A. Definisi Graf

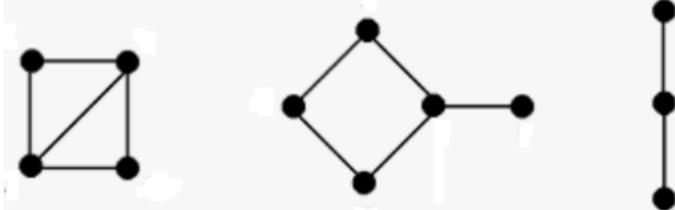
Graf digunakan untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut, sehingga secara sederhana graf didefinisikan sebagai kumpulan titik yang dihubungkan oleh garis-garis/sisi. Sedangkan definisi matematis untuk graf adalah, pasangan terurut himpunan  $(V, E)$ , dimana  $V$  merupakan himpunan beranggotakan titik-titik (vertex) dan  $E$  merupakan himpunan beranggotakan sisi-sisi (edges).

### B. Jenis-Jenis Graf

Berdasarkan ada atau tidaknya gelang pada suatu graf, graf dibedakan menjadi dua yaitu

#### 1.) Graf Sederhana

Graf sederhana adalah graf yang tidak mengandung gelang maupun sisi ganda.

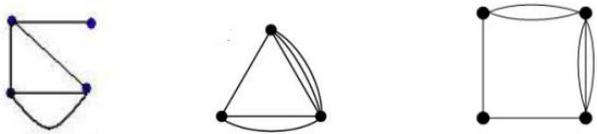


#### 2.) Graf tak-sederhana

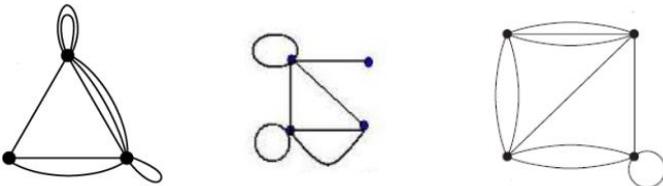
Graf tak sederhana adalah graf yang mengandung sisi ganda maupun gelang.

Graf tak sederhana dibagi lagi menjadi:

##### a.) Graf ganda



##### b.) Graf semu

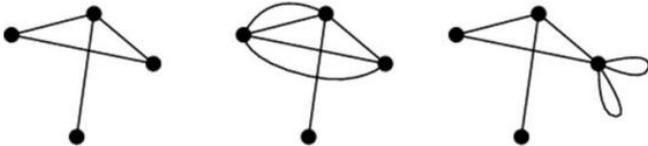


Perbedaan dari keduanya adalah graf ganda hanya memiliki sisi yang ganda saja dan tidak memiliki gelang sedangkan graf semu memiliki sisi ganda maupun gelang.

Berdasarkan orientasi arah pada sisi-sisinya graf dibedakan lagi menjadi:

##### a.) Graf tak berarah

Graf tak berarah adalah graf yang tidak memiliki orientasi arah.



##### b.) Graf berarah

Graf berarah adalah graf yang di setiap sisinya diberi arah.

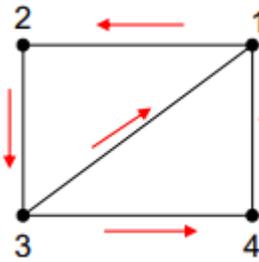


Perbedaan dari keduanya jelas graf berarah adalah graf yang di setiap sisi-sisinya tidak memiliki arah sedangkan graf berarah adalah graf yang di setiap sisi-sisinya memiliki arah.

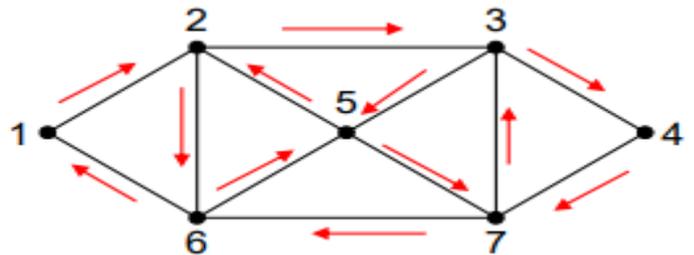
### C. Lintasan Dan Sirkuit Euler

- Lintasan euler adalah lintasan yang melalui masing-masing sisi pada graf tepat satu kali
- Sirkuit euler adalah sirkuit yang melalui masing-masing sisi pada graf tepat satu kali
- Graf yang memiliki sirkuit euler disebut graf euler
- Graf yang mempunyai lintasan euler disebut juga graf semi euler

Beberapa contoh dari graf euler dan graf semi euler sebagai berikut:



Gambar di samping merupakan graf semi euler karena di dalam graf tersebut ada dua simpul yang memiliki derajat ganjil pada simpul 1 dan 3, lalu simpul ke 2 dan 3 memiliki derajat yang genap maka dari itu graf ini disebut graf semi euler.



Untuk gambar di atas merupakan graf euler karena seluruh simpulnya memiliki derajat genap mulai dari simpul 1,2,3,4,5,6,7 semuanya berjumlah genap dan tidak ada yang ganjil mak dari itu graf di atas disebut sebagai graf euler dan bukan graf semi euler.

Perbedaan dari graf euler dan graf semi euler ada pada jumlah dari derajat masing-masing simpul, graf euler memiliki derajat masing-masing simpul berjumlah genap sedangkan graf semi euler memiliki simpul dengan jumlah derajat ganjil pada dua simpulnya selain itu jumlahnya genap maka dianggap sebagai graf semi euler.

Di dalam euler terdapat beberapa teori yang menunjukkan sebuah graf memiliki lintasan atau sirkuit euler, berikut beberapa dari teorema tersebut:

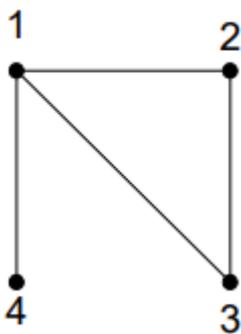
- Teorema 1 : graf tidak berarah  $G$  merupakan graf euler jika dan hanya jika graf tersebut memiliki seluruh simpul berderajat genap seperti pada gambar 2 di atas
- Teorema 2 : graf tidak berarah memiliki lintasan euler karena graf tersebut memiliki dua simpul yang memiliki derajat berjumlah ganjil dan selainnya berjumlah genap.
- Teorema 3 : graf berarah merupakan graf euler jika dan hanya jika graf tersebut memiliki simpul dengan derajat masuk dan keluar sama,
- Teorema 4 : graf berarah merupakan graf semi euler jika dan hanya jika graf tersebut memiliki jumlah

derajat masuk dan keluar sama kecuali dua simpul yang satu memiliki derajat masuk lebih besar dibandingkan keluar dan yang satu lagi memiliki derajat keluar lebih besar dibandingkan derajat masuk.

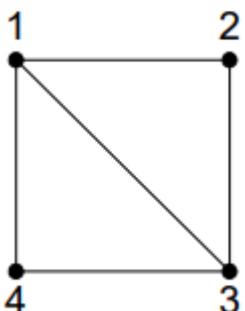
#### D. Lintasan dan Sirkuit Hamilton

- Lintasan hamilton ialah lintasan yang melalui tiap simpul graf tepat satu kali
- Sirkuit hamilton adalah sirkuit yang melalui setiap simpul di dalam graf tepat satu kali kecuali simpul awal dan simpul akhir pada graf yang di mana ia melewatinya dengan dua kali.
- Graf yang memiliki sirkuit hamilton disebut sebagai graf hamilton
- Graf yang memiliki lintasan hamilton disebut juga sebagai graf semi hamilton.

Beberapa dari graf hamilton dan semi hamilton sebagai berikut:



Graf di samping merupakan graf semi hamilton.



Sedangkan untuk graf di samping ini adalah graf hamilton.

Dalam hamilton juga memiliki beberapa teorema di antaranya:

- Teorema 1 : syarat cukup agar sebuah graf adalah graf hamilton adalah simpul graf harus lebih dari tiga dan derajat dari simpulnya merupakan seminimal-minimalnya setengah dari jumlah simpulnya.
- Teorema 2 : setiap graf lengkap adalah graf hamilton.
- Teorema 3 : di dalam graf yang lengkap dengan jumlah simpul lebih dari tiga terdapat  $(n-1)!/2$  sirkuit hamilton di mana n adalah jumlah dari simpul yang dimiliki oleh graf.
- Teorema 4 : di dalam graf lengkap dengan jumlah simpul dari graf tersebut lebih dari tiga dan jumlah dari simpul grafnya adalah ganjil terdapat  $(n-1)!/2$

sirkuit hamilton yang saling lepas di mana n adalah jumlah dari simpul graf.

- Teorema 5 : di dalam graf lengkap di mana graf memiliki jumlah simpul lebih dari empat dan jumlah dari simpul tersebut adalah ganjil maka terdapat  $(n-1)!/2$  jumlah sirkuit hamilton yang saling lepas pada graf tersebut.

#### E. Penerapan Graf pada Kehidupan sehari-hari

Di kehidupan sehari-hari kita biasa menemui graf pada rangkaian listrik, rantai makanan, rute terdekat yang bisa kita lalui pada peta, isomer pada senyawa kimia karbon, rantai makanan, dan masih banyak lagi.

Banyak sekali kegunaan graf pada kehidupan sehari-hari, dalam makalah ini graf akan digunakan untuk mengetahui cara membuat lintasan pada beberapa kotak sawah agar kotak-kotak tersebut dapat terisi oleh air secara merata dan membuat sawah menjadi tumbuh maksimal tanpa ada kotak yang tidak terkena oleh air.

#### F. Definisi Sawah

Lahan sawah merupakan salah satu ciri kehidupan masyarakat tradisional yang umum dijumpai di beberapa negara yang sebagian besar penduduknya mengonsumsi beras sebagai makan pokoknya, seperti di Asia (Asia Tenggara, Asia Selatan, dan Asia Timur).

Lahan sawah yang merupakan ciri kehidupan masyarakat tradisional sudah ada sejak zaman purba. Bukti-bukti bahwa lahan sawah sudah ada sejak zaman purba menurut Rostam dan Anuar (1984) telah dikaji oleh ahli arkeologi yang menginformasikan bahwa pertanian lahan sawah dengan tanaman utamanya padi dimulai di India dan Cina lebih dari 1.000 tahun yang lalu sebelum Masehi.

Sawah memiliki beberapa perbedaan jika dilihat dari bentuknya tergantung pada topografi wilayah masing-masing, seperti Bali yang membuat lahan sawah seperti terasering karena wilayah permukaannya naik turun dan Cirebon yang kebanyakan membuat sawah dengan kotak-kotak karena wilayahnya yang datar.



Gambar dari sawah Ubud Bali



Gambar sawah pergasingan lombok

Sawah juga dibedakan dari pengairannya yaitu irigasi dan non irigasi.

Sawah irigasi sendiri adalah sawah yang pengairannya bergantung pada waduk setempat sedangkan sawah non irigasi adalah sawah yang perairannya menggunakan hujan saja tanpa menggunakan waduk.



Gambar di samping merupakan sawah yang perairannya bergantung pada waduk atau disebut sawah irigasi, seluruh air yang berasal dari waduk akan disebarakan secara merata pada sawah-sawah di sekitar waduk.

Keunggulan dari metode ini adalah sawah-sawah yang bergantung pada waduk tidak perlu menunggu cuaca hujan untuk memenuhi kebutuhan air sehari hari karena air sudah terjamin ada pada waduk.



Gambar di atas merupakan contoh dari sawah non irigasi yang merupakan sawah yang perairannya bergantung pada air hujan, berbeda dengan sawah irigasi yang bergantung pada waduk sawah dengan metode seperti ini harus bergantung pada air hujan biasanya digunakan pada wilayah yang sering hujan atau wilayah yang jauh dari waduk. Kelemahan dari sawah non irigasi ini adalah jika sawah ini jauh dari waduk dan wilayah yang menggunakan sistem ini jarang hujan maka sawah akan rentan dengan kekeringan dan membuat abrasi, maka dari itu metode ini tidak disarankan untuk wilayah yang jarang hujan.

### III. IMPLEMENTASI GRAF HAMILTON PADA LINTASAN PENGAIRAN SAWAH

#### A. Permasalahan Lintasan Pada Pengairan Sawah

Pa Adi adalah seseorang yang baru saja membeli tanah yang luas, ia ingin menjadikan tanah tersebut sebagai ladang sawah. Alasan Pa Adi membeli tanah tersebut untuk digunakan sebagai ladang sawah karena di dekat wilayah tersebut terdapat sebuah waduk sehingga ia merasa tanah yang ia beli sangat strategis untuk dijadikan sebuah sawah. Pa Adi berencana untuk membuat sawahnya dialiri oleh air waduk dengan cara membuat sebuah lintasan dari waduk ke wilayahnya, anggap lintasan dari waduk menuju tanahnya sudah jadi. Lintasan dari waduk menuju sawah adalah menurun sedangkan wilayah dari Pa Adi adalah datar sehingga Pa Adi membuat sawahnya secara kotak-kotak seperti pada gambar sawah pergasingan lombok di atas.


Gambar di atas merupakan sebuah ilustrasi dari bentuk sawah yang dibuat oleh Pa Adi, ia membentuknya secara datar dan kotak-kotak.

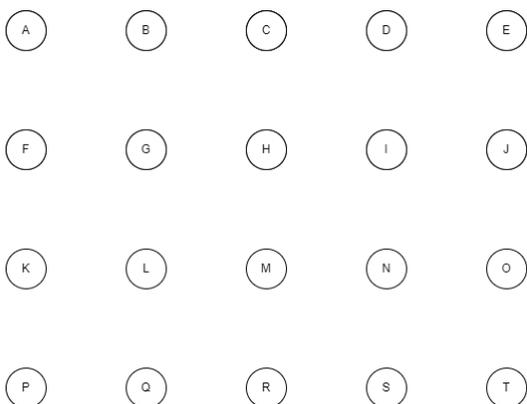
Pa Adi membuat lintasan air dari waduk menuju sawahnya dan cara Pa Adi untuk mengalirkannya adalah membuka salah satu dinding di atas sawahnya agar air memasuki sawah karena sawah yang dimiliki Pa Adi berada di bawah waduk.

Tetapi Pa Adi bingung bagaimana caranya agar seluruh sawahnya dialiri oleh air waduk yang sudah ia buat lintasannya.

Permasalahan dari persoalan ini adalah bagaimana Pa Adi membuat lintasan yang di mana bisa melewati sawah-sawahnya sekali agar sawahnya bisa dialiri seluruhnya dan tumbuh dengan maksimal, persoalan seperti ini bisa diselesaikan dengan graf hamilton.

#### B. Pemecahan Masalah Lintasan Pengairan Sawah Dengan Graf Hamilton

Pertama-tama yang harus dilakukan adalah mengubah ruang-ruang pada sawah menjadi kumpulan simpul terlebih dahulu agar dapat diolah dengan mudah menjadi sebuah graf. Seperti gambar di bawah ini:

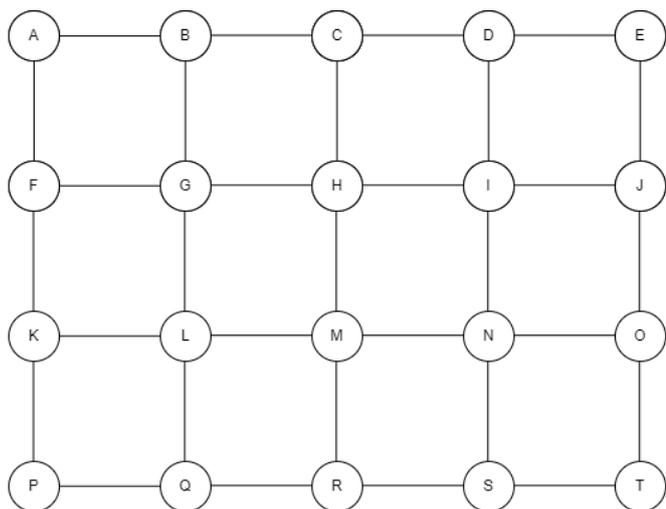


Dalam gambar tersebut terdapat 20 simpul yang di mana maksud dari simpul-simpul di atas adalah sebuah ruang dari sawah yang ingin dialiri oleh air waduk secara merata.

Dengan menggunakan graf hamilton kita bisa dengan mudah mendapatkan lintasan air yang menghubungkan sawah-sawah tersebut agar air yang mengalir dapat melintasi ruang sawah tepat sekali dan seluruh sawah harus terhubung satu sama lain.

Pa Adi ingin membuka tiap-tiap dinding seminimal mungkin dan mendapatkan hasil yang maksimal untuk mengairi seluruh sawahnya.

Hal yang pertama kali harus dilakukan adalah dengan menyambungkan seluruh simpul-simpul tersebut menjadi graf hamilton seperti di bawah ini:



Setelah kita menghubungkan seluruh simpul yang sudah dibuat, selanjutnya diimplementasikan pada program python seperti di bawah ini:

```
G = nx.DiGraph([("A", "B"), ("A", "F"),
                ("B", "C"), ("B", "G"),
                ("C", "D"), ("C", "H"),
                ("D", "E"), ("D", "I"),
                ("E", "J"),
                ("F", "G"), ("F", "K"),
                ("G", "L"), ("G", "H"),
                ("H", "I"), ("H", "M"),
                ("I", "J"), ("I", "N"),
                ("J", "O"),
                ("K", "L"), ("K", "P"),
                ("L", "M"), ("L", "Q"),
                ("M", "R"), ("M", "N"),
                ("N", "O"), ("N", "S"),
                ("O", "T"),
                ("Q", "R"),
                ("R", "S"),
                ("S", "T")
                ])
```

Gambar di atas merupakan implementasi dari graf yang sudah dibuat dengan menggunakan library networkx di python dan setelah diimplementasikan graf akan dimasukkan pada program python yang dibuat untuk mencari sirkuit dari graf yang sudah dimasukkan, kode dari python tersebut bisa dilihat di bawah ini:

```
def hamilton(G):
    F = [(G, [list(G.nodes())[0]])]
    n = G.number_of_nodes()
    while F:
        graph, path = F.pop()
        confs = []
        neighbors = (node for node in graph.neighbors(path[-1])
                    if node != path[-1]) #exclude self loops
        for neighbor in neighbors:
            conf_p = path[:]
            conf_p.append(neighbor)
            conf_g = nx.Graph(graph)
            conf_g.remove_node(path[-1])
            confs.append((conf_g, conf_p))
        for g, p in confs:
            if len(p) == n:
                return p
            else:
                F.append((g, p))
    return None
```

Kode di atas berfungsi untuk mencari sirkuit hamilton yang di mana dapat mencari lintasan air yang efektif dan mengalir seluruh sawah dari pintu masuk sampai keluar.

Cara menggunakan kode tersebut adalah dengan memanggil graf yang sudah dibuat lalu memasukkannya ke dalam fungsi di atas dengan menggunakan print di python.

Setelah membuat graf hamilton langsung masukkan saja graf tersebut ke dalam fungsi dan inilah hasilnya:

```
"D:\pycharm project\pythonProject\graf\Scripts\python.exe" "D:\pycharm project\pythonProject\main.py"
['A', 'F', 'G', 'B', 'C', 'H', 'M', 'N', 'I', 'D', 'E', 'J', 'O', 'T', 'S', 'R', 'Q', 'L', 'K', 'P']

Process finished with exit code 0
```

### C. Pengimplementasian Pada Lintasan Air Sawah

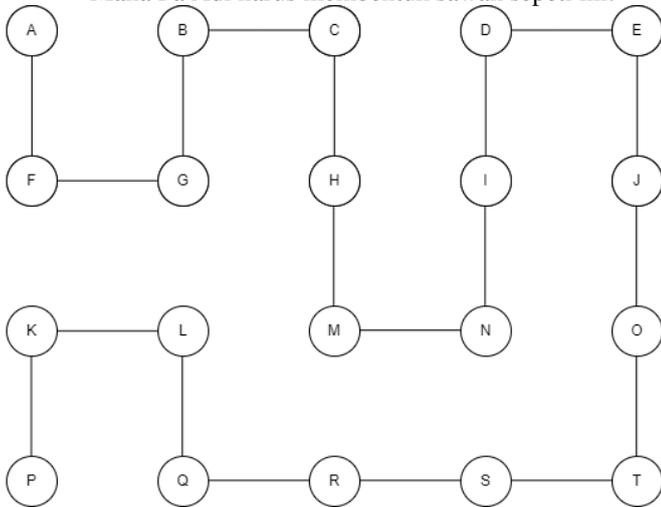
Dari hasil yang sudah didapat yaitu :

```
"D:\pycharm project\pythonProject\graf\Scripts\python.exe" "D:\pycharm project\pythonProject\main.py"
['A', 'F', 'G', 'B', 'C', 'H', 'M', 'N', 'I', 'D', 'E', 'J', 'O', 'T', 'S', 'R', 'Q', 'L', 'K', 'P']

Process finished with exit code 0
```

Maka Pa Adi hanya harus membuat lintasan air pada sawah sesuai dengan hasil dari sirkuit hamilton di atas dan jika Pa Adi mengikutinya maka seluruh sawah Pa Adi akhirnya dialiri oleh air yang cukup.

Maka Pa Adi harus membentuk sawah seperti ini:



Dengan air masuk pada sawah A terlebih dahulu dan lalu ke F lalu ke G lalu ke B lalu ke C lalu ke H sampai akhir yaitu P yang di mana itu adalah jalur keluar air yang akan dihantarkan pada sawah orang-orang sekitar wilayah Pa Adi.

Jadi Pa Adi bisa mengalirkan air ke seluruh sawahnya dengan cara seperti itu dengan seminimal mungkin jalan yang dibuat agar menghemat tenaga Pa Adi karena air turun dari atas ke bawah sehingga seluruh sawah akan terisi oleh air dengan cukup dan tumbuh dengan maksimal,

## IV. KESIMPULAN

Graf hamilton dapat digunakan dalam menentukan lintasan yang paling minimum yang melewati seluruh sawah agar sawah dialiri air dengan maksimal dan tumbuh dengan maksimal pula.

## REFERENCES

[1] <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/>

[2] <https://ugmpress.ugm.ac.id/id/product/pertanian/mengenal-lahan-sawah-dan-memahami-multifungsinya-bagi-manusia-dan-lingkungan>  
 [3] <https://gist.github.com/mikkela/ab7966e7ab1c441f947b>

## 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, 11 Desember 2020

Fahrian Afdholi, 13521031