Optimasi Manajemen Pertanian dengan Pohon Merentang Minimum dan Pewarnaan Graf

Nicholas Rianto Putra / 13516020
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
13516020@std.itb.ac.id, nicholasmagbanua@gmail.com

***Abstrak*—Indonesia adalah negara agraris dimana mata pencaharian sebagian besar penduduknya sebagai petani. Sebagai negara agraris, Indonesia harus mampu memaksimalkan sektor pertanian guna meningkatkan kesejahteraan sosial masyarakat Indonesia. Tolak ukur kesuksesan pertanian sendiri ada beberapa, dimana salah satunya adalah hasil panen. Faktor-faktor yang mampu menyebabkan terjadinya gagal panen adalah Kekeringan, serangan hama dan penyakit, bencana alam, cuaca ekstrim, hingga perawatan tanaman yang kurang baik. Kekeringan yang sering melanda beberapa pertanian di Indonesia disebabkan oleh dua hal utama, yaitu kemarau panjang dan sistem irigasi yang buruk. Makalah ini akan membahas mengenai optimasi sistem saluran air, agar para petani bisa membangun sistem saluran air dengan biaya seminim mungkin, dan tentunya merata ke seluruh persawahan mereka. Selain itu, makalah ini juga akan membahas mengenai manajemen tumpang sari agar dapat menghasilkan kombinasi yang tepat untuk menaikkan produksi hasil panen para petani.**

***Kata kunci*—irigasi, tumpang sari, pohon merentang minimum, pohon, graf, air.**

I. PENDAHULUAN

Makanan sudah menjadi salah satu kebutuhan primer seluruh manusia di bumi ini. Selain berperan sebagai salah satu sumber energi kita dalam menjalani aktivitas-aktivitas dalam kehidupan sehari-hari, makanan juga mengandung vitamin dan zat lainnya yang dibutuhkan oleh tubuh kita untuk berkembang. Oleh karenanya, pertanian berperan penting dalam hidup kita sebagai produsen utama makanan yang kita butuhkan. Dari tahun ke tahun, permintaan jumlah makanan oleh masyarakat terus meningkat, hingga terkadang melebih kemampuan produksi para petani.

Oleh karenanya, para petani harus mampu mencegah terjadinya gagal panen. Beberapa faktor yang sering mengakibatkan terjadinya gagal panen adalah :

1. Kekeringan
   Kekeringan yang sering melanda pertanian–pertanian di Indonesia disebabkan oleh sistem saluran irigasi yang buruk, dan adanya kemarau panjang. Kurangnya suplai air pada tanaman dapat mengakibatkan terjadinya gagal panen akibat kematian massal tanaman yang ditanam.
2. Cuaca ekstrim
   Tidak bisa dipungkiri bahwa seiring bergantinya tahun, terjadi perubahan iklim yang cukup ekstrim sehingga terkadang persawahan bisa diterjang oleh hujan yang frekuensinya begitu lebat, atau kemarau berkepanjangan.
3. Bencana alam
   Faktor ini tidak dapat diprediksi oleh para petani, namun bencana alam seperti tanah longsor, banjir, ataupun gempa dapat menyebabkan kerusakan parah pada persawahan, sehingga gagal panen tidak bisa dihindari.
4. Hama dan penyakit
   Hama seperti tikus, wereng, penggerek batang, dan juga penyakit seperti embun tepung, tungro, layu cabai, hingga mosaik menjadi faktor tanaman-tanaman menjadi tidak dapat dipanen oleh para petani.
5. Bibit buruk
   Pemlihan bibit yang salah dapat menjadi salah satu faktor terjadinya gagal panen, karena tanaman tidak akan tumbuh normal sebagaimana mestinya.
6. Lokasi tandus
   Gagal panen dapat terjadi akibat lokasi persawahan yang tidak lagi subur, alias tandus. Beberapa faktor yang menyebabkan lahan menjadi tandus adalah kurangnya penggarapan tanah, penggunaan pupuk anorganik yang berlebihan, tanah terlalu asam atau basa, ataupun intensitas curah hujan yang terlalu sedikit atau banyak.

Dalam rangka menjaga keseimbangan antara produksi dan permintaan, dibutuhkan sistem pertanian yang bagus dan terorganisir, baik secara bibit, cara penanaman hingga pengaturan saluran air (irigasi). Perancangan dan pengaturan ini diharapkan mampu meminimalisir terjadinya gagal panen akibat kekeringan yang tentunya mampu menggoyahkan kestabilan *supply and demands* bahan pangan.

Salah satu cara untuk mencegah terjadinya kekeringan pada pertanian adalah perancangan sistem irigasi yang baik. Sistem irigasi dikatakan baik dan terorganisir apabila mampu mendistribusikan air pada semua petak secara efektif dan efisien.

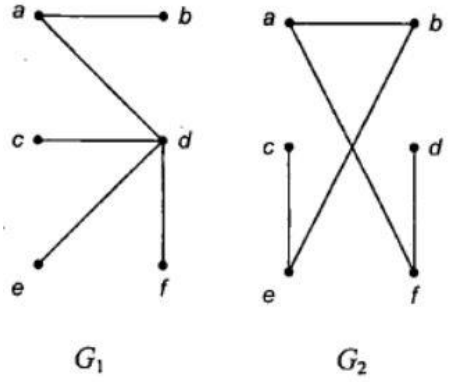
Makalah ini akan membahas mengenai pengoptimalan sistem irigasi pertanian secara umum, serta pengaturan kombinasi tumpang sari. Optimasi perlu dilakukan agar para petani mampu meraup keuntungan lebih dengan adanya penghematan biaya

irigasi, mengurangi tingkat kegagalan panen akibat saluran irigasi yang buruk, serta pengaturan kombinasi tumpang sari yang diharapkan mampu meningkatkan keuntungan hasil panen para petani.

II. LANDASAN TEORI

A. Pohon (Tree)

Pohon adalah graf khusus yang tak-berarah, terhubung dan tidak mengandung sirkuit. Berikut adalah ilustrasi pohon :



Gambar 1 G1 dan G2 adalah contoh pohon.

Sumber : Matematika Diskrit, 2010.

Karena pohon sendiri merupakan bagian dari graf, maka pohon adalah suatu graf yang selalu memiliki simpul, tetapi tidak selalu memiliki sisi, notasinya adalah *G = (V,E)*. Sifat-sifat pohon adalah :

1. Setiap pasang simpulnya terhubung dengan lintasan tunggal.
2. Tidak mengandung sirkuit dan memiliki *n-1* buah sisi.
3. Tidak mengandung sirkuit dan penambahan satu sisi pada graf akan membuat hanya satu sirkuit.
4. Terhubung dan semua sisinya adalah jembatan, dimana graf dapat terpecah jika salah satu sisinya dihapus.

B. Pohon Merentang Minimum

Jika kita memiliki suatu graf *G =(V,E)*, dimana graf tersebut tak-berarah terhubung dan memiliki beberapa sirkuit,maka jika kita menghapus satu buah sisi dari masing-masing sirkuit, akan terbentuk suatu pohon *T* yang disebut sebagai pohon merentang. Pohon merentang ini memiliki beberapa aplikasi yang sangat berguna di kehidupan sehari-hari, seperti pemodelan jaringan komputer, jaringan telepon di suatu kota, instalasi pipa air dan kabel pada suatu gedung, dan juga sistem distribusi air pada suatu pertanian.

Ketika kita mempunyai suatu graf berbobot, dimana tiap sisi pada graf *G=(V,E)* memiliki suatu nilai, maka kita dapat membentuk suatu pohon merentang yang memiliki bobot terkecil. Pohon merentang dengan total bobot yang terkecil ini dinamakan Pohon Merentang Minimum (*Minimum Spanning Tree)*. Pohon merentang minimum ini sangat luas prakteknya, seperti pengoptimalan sistem irigasi air pertanian, membangun jalur rel kereta api antar kota, ataupun pengoptimalan jaringan kabel telepon suatu perusahaan komunikasi.

Untuk membentuk suatu pohon minimum merentang dari sebuah graf yang himpunan simpulnya tidak kosong, ada dua algoritma yang dapat kita gunakan, yaitu Algoritma Prim dan Algoritma Kruskal.

Berikut adalah langkah-langkah pada algoritma Prim untuk membentuk suatu pohon merentang minimum dari suatu graf *G=(V,E)* :

1. Cari sisi terminimum pada graf *G*, masukkan pada pohon *T*.
2. Cari sisi terminimum pada graf G yang bersisian dengan simpul pada pohon *T* dan tidak membentuk suatu sirkuit.
3. Ulangin langkah 2 sebanyak *n – 2* kali.

Dibawah ini merupakan notasi algoritmik dari algoritma Prim :

```
Procedure Prim (input G : graf, output T : pohon)
{Membentuk pohon merentang minimum T dari graf terhubung G.}
Deklarasi
    e : sisi
Algoritma
    T ← sisi e yang mempunyai bobot minimum di dalam E
    E ← E – (e) {e sudah dipilih, jadi buang e dari E}
    For i ← 1 to n – 2 do
        e ← sisi yang mempunyai bobot terkecil didalam E dan
            bersisian dengan simpul di T
        T ← T ∪ (e) {masukkan e ke dalam T}
        E ← E – (e) {e sudah dipilih, jadi buang e dari E}
    endfor
```

Sumber : Matematika Diskrit, 2010.

Pada algoritma Kruskal, semua sisi yang ada pada graf akan diurutkan dari yang bobotnya terkecil hingga terbesar. Pada awalnya, akan terbentuk hutan-hutan terlebih dahulu, dimana hutan tersebut adalah hutan merentang. Perbedaan utama antara algoritma Prim dan Kruskal adalah algoritma Kruskal tidak mengharuskan sisi yang dipilih selalu bersisian dengan simpul yang ada pada pohon *T*.

Berikut adalah langkah-langkah pada algoritma Kruskal untuk membentuk suatu pohon merentang minimum dari suatu graf *G=(V,E)* :

1. Pohon *T* masih kosong.
2. Pilih sisi e dengan bobot minimum dan tentunya tidak membentuk sirkuit di pohon *T*.
3. Ulangin langkah 2 sebanyak *n – 1* kali.

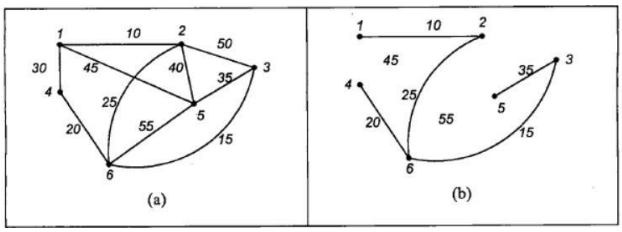
Dibawah ini merupakan notasi algoritmik dari algoritma Kruskal :

```
Procedure Kruskal (input G : graf, output T : pohon)
{Membentuk pohon merentang minimum T dari graf terhubung G.}
Deklarasi
    I, p, q, u, v : integer
Algoritma
    T ← ( )
    while jumlah sisi T < n – 1 do
        e ← sisi yang mempunyai bobot terkecil didalam E
        E ← E – (e) {e sudah dipilih, jadi buang e dari E}
        If e tidak membentuk siklus di T then
```

```
        T ← T ∪ (e) {masukkan e ke dalam T}
      endif
    endfor
```

Sumber : Matematika Diskrit, 2010.

Contoh penerapan algoritma Prim dan algoritma Kruskal adalah :

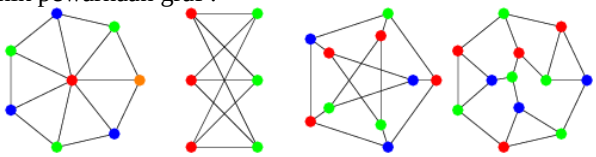


Gambar 2 (a) Graf , (b) Pohon merentang minimum

Sumber : Matematika Diskrit, 2010.

C. Pewarnaan graf

Pewarnaan graf adalah suatu teknik untuk memberikan label pada suatu graf, dimana tidak ada simpul bersisian yang memiliki label atau warna yang sama. Berikut adalah ilustrasi teknik pewarnaan graf :



Gambar 3 Graf yang diberi label warna, dimana tiap simpul yang bersisian tidak ada yang berwarna sama

Sumber : http://mathworld.wolfram.com/images/eps-gif/VertexColoring_750.gif

Aplikasi dari pewarnaan graf ini cukup banyak, diantaranya untuk mewarnai peta dengan warna minimal sehingga tidak ada negara bertetangga yang berwarna sama, klasifikasi zat kimia yang tidak boleh berada di dalam satu ruangan, dan pembuatan jadwal ujian agar tidak ada siswa yang jadwal ujiannya bertabrakan dengan yang lain.

Langkah-langkah untuk melakukan teknik pewarnaan simpul graf ini adalah sebagai berikut :

1. Buatlah tabel berisi nama simpul dan derajatnya.
2. Berikan label pertama pada simpul dengan derajat terbesar, lalu tandai simpul lain dengan label yang sama dengan syarat simpul tersebut tidak bersisian dengan simpul lain yang berlabel sama.
3. Ulangi langkah 2 hingga seluruh simpul sudah diberikan label.

D. Sistem irigasi dan kebutuhan air

Irigasi adalah salah satu teknik buatan manusia untuk memnuhi kebutuhan air suatu tanaman. Umunya, irigasi dipakai pada daerah-daerah yang intensitas hujannya rendah. Jenis-jenis irigasi sendiri pun ada beberapa, yaitu :

1. Irigasi permukaan
   Irigasi kuno dengan sumber air dari sungai, lalu menyalurkannya ke lahan-lahan dengan pipa atau selang.
2. Irigasi bawah permukaan
   Sistem irigasi yang memanfaatkan kapilaritas lapisan tanah, sehingga peresapan air oleh akar terjadi di bawah tanah.
3. Irigasi dengan pancaran
   Irigasi modern yang memancurkan air pada tanaman-tanaman di lahannya.
4. Irigasi pompa air
   Irigasi dengan bantuan pompa air untuk menyalurkan air pada area-area persawahan.
5. Irigasi lokal
   Irigasi lokal ini mirip dengan irigasi permukaan, hanya saja pipanisasinya terfokus hanya pada suatu area tertentu saja.
6. Irigasi dengan ember
   Irigasi ini adalah irigasi yang sangat manual, dimana para petani menyirami tiap tanaman satu persatu dengan menimba air dari sumber air.
7. Irigasi tetes
   Irigasi tetes ini dibuat dengan cara melubangi pipa-pipa saluran air, sehingga air akan menetes langsung ke akar tanaman.

Pemilihan teknik irigasi sendiri akan sangat bergantung pada luas area dan jenis tanamannya. Misalnya, untuk pertanian kecil, tentu saja irigasi yang paling cocok dan pengeluarannya terkecil adalah irigasi permukaan, yang hanya mengandalkan gravitasi bumi untuk mengalirkan airnya.

Perancangan manajemen air untuk irigasi sendiri harus didasarkan pada jawaban beberapa pertanyaan umum, seperti berapa banyak air permukaan yang tersedia pada daerah tersebut, berapa banyak air tanah yang tersedia pada daerah tersebut, bagaimana agar air permukaan dapat dibendung dan bergerak menuju area sawah, bagaimana desain terfektif untuk meminimalkan jumlah air yang hilang dan memaksimalkan hasil panen, dan berapa banyak air maksimal yang diperlukan agar tidak menimbulkan genangan air yang berlebihan pada lahan tersebut.

Untuk mencapai keberhasilan dalam mengatur sistem irigasi suatu pertanian, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan, diantaranya :

1. Pengolahan sumber air
2. Manajemen air pada sumber
3. Manajemen air pada pertanian
4. Teknik irigasi
5. Pemilihan jenis tanaman
6. Pengaturan jadwal irigasi
7. Pengolahan lahan pertanian

Kita bisa lihat bahwa tiga dari tujuh faktor yang dijabarkan diatas berhubungan dengan air. Oleh karenanya, kita harus mampu menganalisis kebutuhan air tiap tanaman, jenis & kualitas air yang ada di sekitar lahan, dan mengefektifkan jumlah air yang dipakai. Secara matematis, kecocokan air yang dipakai untuk irigasi dapat diformulakan sebagai :

$$Sw = f(Ws, Ts, St, Ss, T, C, WT, D, Gs, Mc, \dots)$$

Dimana *Sw* adalah kecocokan air, f adalah fungsi, *Ws* adalah kadar garam pada air, *Ts* adalah jenis garam yang terkandung, *St* adalah jenis tanah, *Ss* adalah kadar garam pada tanah, *T* adalah tingkat toleransi garam, *C* adalah cuaca, *WT* adalah tabel

kedalaman air, *D* adalah fasilitasi drainase, *Gs* adalah kadar garam air tanah, dan *Mc* adalah teknik manajemen yang diadaptasi.

Selain kecocokan air, ada faktor lain bernama evapotranspirasi dasar, yang disebut ET_o. Evapotranspirasi ini berperan penting dalam menentukan jumlah air yang dibutuhkan suatu tanaman. Formula untuk menghitung ET_o ini sendiri adalah :

$$ETo = Kc\ x\ ETc$$

dimana ET_0 adalah evapotranspirasi umum, Kc adalah faktor tanaman, dan ET_c adalah evapotranspirasi tanaman. Biasanya tanaman yang dipakai untuk menghitung evapotranspirasi umum adalah rumput.

Dari evapotranspirasi ini, kita dapat menghitung periode irigasi suatu pertanian dengan cara :

$$Periode\ Irigasi\ (hari) = \frac{Kedalaman\ penipisan\ tanah\ pada\ area\ tanaman\ sebelum\ irigasi\ (mm)}{ETc\ (mm/hari)}$$

Untuk menghitung kuantitas air yang diperlukan oleh suatu tanaman secara matematis, kita dapat memaki persamaan :

$$NIR = CIR + LR + PSR + NWR$$

dimana NIR adalah kebutuhan bersih air irigasi, CIR adalah kebutuhan konsumsi irigasi (umumnya sama dengan nilai ET_c), LR adalah kebutuhan pencucian, PSR adalah kebutuhan pra-menabur, dan NWR adalah kebutuhan air pembibitan. Pada kenyataannya, saat kita mengalirkan air pada sistem irigasi yang kita buat, kuantitas air yang kita alirkan sering berkurang karena beberapa hal, seperti kebocoran, penguapan, dan peresapan berlebihan pada tanah. Oleh karenanya, kita harus memperhitungkan kebutuhan kotor air pada sistem irigasi kita, yaitu dengan menggunakan persamaan :

$$GIR = \frac{NIR}{\eta C\ x\ \eta A}$$

dimana GIR adalah kebutuhan kotor air irigasi, NIR adalah kebutuhan bersih air irigasi, ηC adalah efisiensi bahan saluran air dan ηA adalah efisiensi pemakaian air di lapangan.

Persamaan untuk menghitung efisiensi pemakaian air pada suatu sistem irigasi sendiri adalah :

$$\eta = \frac{\eta C\ x\ \eta A}{100}$$

dimana η adalah efisiensi pemakaian air pada suatu sistem irigasi, ηC adalah efisiensi bahan saluran air, dan ηA adalah efisiensi pemakaian air di lapangan.

E. Tumpang sari

Banyak pertanian yang masih menganut sistem pertanian satu jenis. Faktanya adalah pertanian satu jenis dari suatu famili secara terus menerus memiliki beberapa dampak buruk, diantaranya ledakan hama, pengerasan struktur tanah, berkurangnya kemampuan peresapan tanah, hingga menghilangnya organisme yang bersimbiosis dengan tanaman itu sendiri.

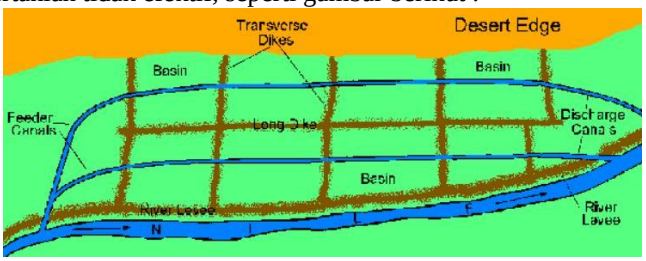
Oleh karena itu, tumpang sari menjadi salah satu solusi. Tumpang sari adalah penanaman campuran dimana dua jenis atau lebih tanaman ditanam pada satu area. Tujuan utama dari tumpang sari adalah untuk meraup keuntungan lebih karena sistem tumpang sari mampu memanfaatkan air dan nutrisi jauh lebih efisien, menurunkan tingkat kegagalan panen akibat serangan hama, dan mengacaukan serangga, sehingga ketika tumpang sari dilakukan dengan benar, maka campuran tersebut akan menarik serangga-serangga yang menguntungkan.

III. PENERAPAN GRAF DAN POHON PADA MANAJEMEN PERTANIAN

A. Pemodelan saluran air dengan pohon merentang minimum

Pohon merentang minimum atau yang biasa disebut *Minimum spanning tree* dapat diaplikasikan pada saat mendesain saluran irigasi yang akan dibuat pada suatu pertanian.

Seringkali kita temui pembuatan saluran irigasi di area pertanian tidak efektif, seperti gambar berikut :

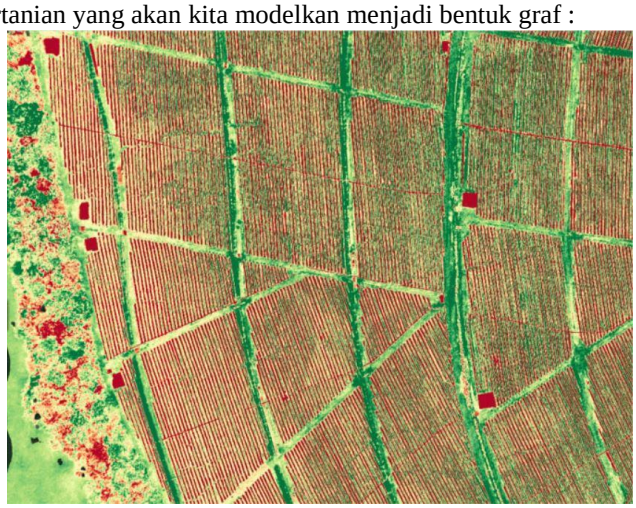


Gambar 4 Sistem irigasi yang tidak efektif, dapat dioptimalkan dengan pohon merentang minimum

Sumber : https://qph.ec.quoracdn.net/main-qimg-36d675e6dca60f8784e85e273aed34b4

Gambar 4 merupakan salah satu bentuk irigasi yang tidak efektif, karena jika saluran irigasi tersebut dibuat representasinya pada bentuk graf, akan mengandung beberapa sirkuit. Syarat suatu saluran irigasi disebut optimal adalah saluran tersebut jika direpresentasikan dalam bentuk graf haruslah berbentuk seperti pohon merentang minimum, yaitu semua simpul memiliki pasangan, tidak ada sirkuit sama sekali pada graf tersebut, serta total beban pohon tersebut adalah total minimum yang dapat dicapai pada graf tersebut.

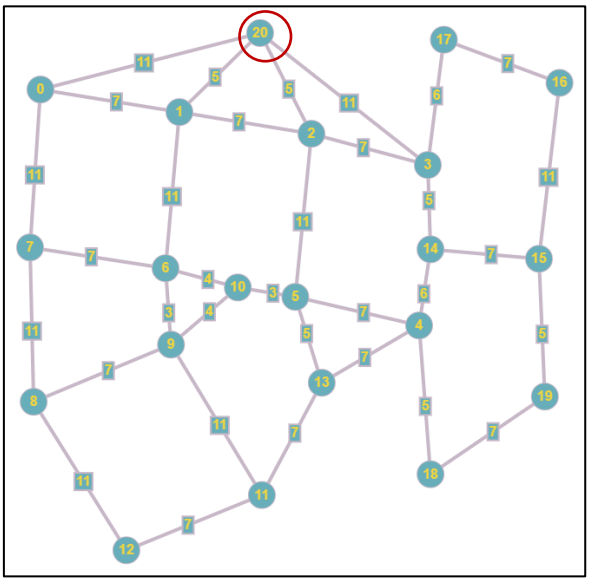
Untuk memulai pemodelan, langkah pertama adalah mengkonversi peta lahan. Berikut adalah contoh gambar peta pertanian yang akan kita modelkan menjadi bentuk graf :



Gambar 5 Peta lahan pertanian diambil dari drone

Sumber : https://www.dronedeploy.com/img/desktop-ndvi.jpg

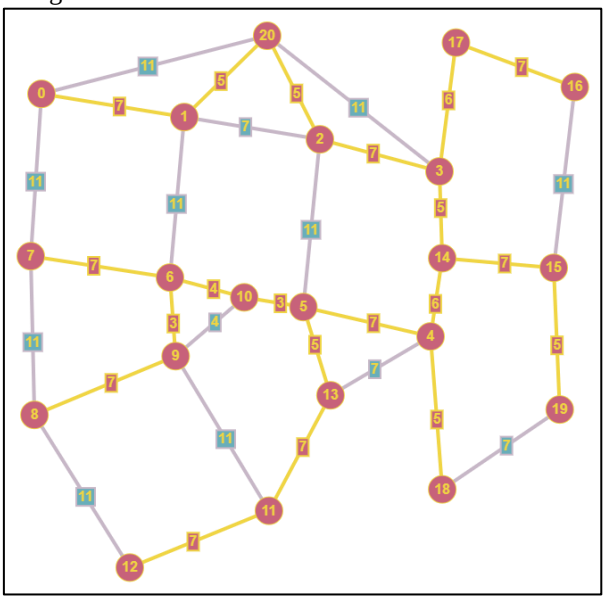
Untuk membuat saluran irigasi yang efektif dengan bantuan pohon merentang minimum, kita harus membuat ilustrasi peta tersebut kedalam bentuk graf. Jika kita telaah, peta tersebut dapat diilustrasikan menjadi graf dimana simpulnya adalah titik-titik sudut tiap petak, dan sisinya adalah saluran air dan area tanah yang lebih tinggi yang menghubungkan titik-titik sudut tersebut. Berikut adalah ilustrasinya, dimana jarak antar simpul adalah asumsi dalam skala **1:10m** :



Gambar 6 Ilustrasi peta saluran air kedalam bentuk graf, dimana simpul 20 adalah sumber air

Jika kita membuat saluran pada seluruh sisi graf diatas, maka panjang total saluran yang kita buat sebesar **2390m**.

Dengan memakai algoritma Prim atau Kruskal, kita dapat mencari sistem saluran air yang paling optimal, yang direpresentasikan dalam bentuk pohon merentang minimum. Berikut adalah sistem saluran air terefektif menurut pohon merentang minimum :



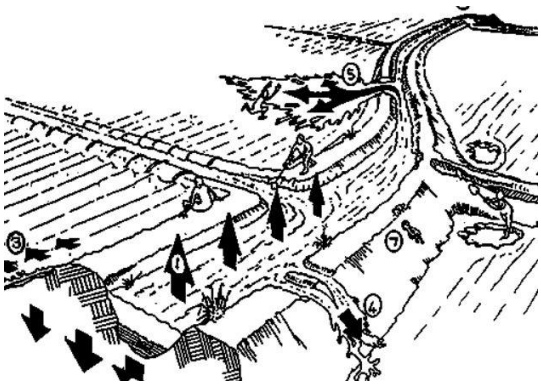
Gambar 7 Lintasan berwarna kuning adalah pohon merentang minimum yang dibuat dari graf lahan pertanian

Gambar pohon diatas merupakan model saluran irigasi paling optimal, dan tentunya sangat menekan biaya pembuatan, maupun biaya pemakaian air pada saluran irigasi. Total panjang saluran yang dibuat pada graf diatas sebesar **1150m**. Biaya yang kita hemat dalam pembuatan saluran tersebut adalah :

$$\textbf{\textit{Persentase Penghematan biaya}} = \frac{Panjang\ sebelum - Panjang\ setelah\ dioptimasi}{Panjang\ sebelum}$$

$$= \frac{2390 - 1150}{2390} x100 = \mathbf{51.883\%}$$

Kita sudah berhasil memotong biaya pembuatan saluran lebih dari lima puluh persen dengan pemodelan menggunakan pohon merentang minimum ini. Selain biaya pembuatan saluran, biaya pemakaian air akan menjadi jauh lebih hemat karena jumlah air yang hilang dalam proses pengairan menjadi lebih sedikit dari biasanya, atau dalam kata lain efisiensi pemakaian air meningkat.



Gambar 8 Ilustrasi evaporasi yang cukup signifikan dalam menurunkan efisiensi pemakaian air, sehingga semakin panjang saluran, efisiensi makin menurun

Sumber : http://www.fao.org/docrep/t7202e/t7202e08.htm

Perhitungan efisiensi dapat dilakukan dengan bantuan tabel efisiensi saluran air dan tabel efisiensi pemakaian air di lapangan. Berikut adalah tabel efisiensinya :

Tabel Efisiensi Air berdasarkan pemakaian di lapangan	
Teknik irigasi	**Efisiensi**
Irigasi permukaan	60%
Irigasi pancuran	75%
Irigasi tetes	90%

Tabel Efisiensi Air berdasarkan Bahan Saluran Irigasi			
Panjang Saluran	**Jenis Saluran**		
	Pasir	**Lempung**	**Tanah Liat**
> 2000m	60%	70%	80%
200-2000m	70%	75%	85%
< 200m	80%	85%	90%

Sumber : http://www.fao.org/docrep/t7202e/t7202e08.htm

Dengan menggunakan persamaan menghitung efisiensi sistem irigasi yang sudah dijelaskan sebelumnya pada landasan teori, kita dapat menghitung selisih efisiensi model saluran air dalam bentuk graf, dengan model saluran air dalam bentuk

pohon merentang minimum.

Asumsi bahwa bahan saluran air yang kita gunakan adalah lempung, dengan teknik irigasi permukaan. Nilai efisiensi model saluran air sepanjang 2390m pada gambar 5 adalah :

$$\eta = \frac{\eta C \ x \ \eta A}{100} = \frac{70 \ x \ 60}{100} = \mathbf{42}\%$$

Nilai efisiensi model saluran air yang sudah dioptimalkan sepanjang 1150m pada gambar 6 adalah :

$$\eta = \frac{\eta C \ x \ \eta A}{100} = \frac{75 \ x \ 60}{100} = \mathbf{45}\%$$

Setelah dioptimalkan, nilai efisiensi pemakaian air meningkat sebesar **3%**. Biaya pemakaian air dapat dihemat sebesar tiga persen setiap kali melakukan irigasi pada lahan.

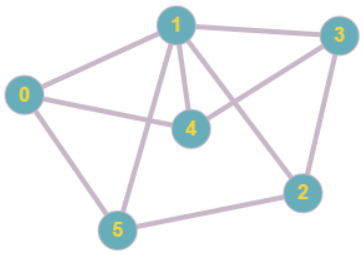
B. Pengaturan kombinasi tumpang sari dengan teknik pewarnaan graf

Setelah menerapkan pohon merentang minimum pada tata letak sistem saluran air, teknik pewarnaan graf dapat dijadikan sebagai salah satu teknik dalam mengatur tumpang sari.

Untuk melakukan tumpang sari tanaman dengan efektif, maka kita harus memperhatikan beberapa parameter yang dijadikan dasar pemilihan tanaman tumpang sari. Sebagai contoh, misalkan kita memiliki enam jenis tanaman yang akan kita tanam secara tumpang sari, yaitu jagung, semangka, labu, gandum, kedelai, dan buncis. Kita akan melakukan tumpang sari dengan dua variasi tanaman, dimana tanaman pertama menjadi tanaman utama, dan tanaman kedua menjadi tanaman tambahan saja. Langkah pertama adalah kita harus membuat tabel klasifikasi untuk menentukan duet tanaman berdasarkan perannya terlebih dahulu. Berikut adalah tabel klasifikasi tumpang sari berdasar peran :

Jenis	**Tidak dapat bersama**
Jagung (0)	Gandum, Kedelai
Gandum (1)	Semangka, Labu, Kedelai
Semangka (2)	Buncis
Labu (3)	Semangka, Kedelai
Kedelai (4)	Buncis
Buncis (5)	Jagung, Gandum

Tabel klasifikasi diatas dibuat berdasarkan peran, dimana target kita adalah satu jenis tanaman utama, dan satu jenis tanaman tambahan, sehingga jagung tidak dapat bersama dengan kedelai, karena mereka berdua adalah jenis tanaman utama. Selain itu, alasan jagung tidak bisa bersama gandum adalah karena mereka masih berada dalam satu famili. Syarat dasar melakukan tumpang sari adalah tidak boleh berada dalam satu famili. Lalu, alasan labu tidak dapat bersama semangka adalah karena dua-duanya adalah tanaman tambahan, bukan tanaman utama. Dari tabel diatas, kita akan mencoba membuat graf dimana simpul merepresentasikan jenis tanaman, dan simpul yang bersisian berarti tidak dapat dilakukan tumpang sari.



Gambar 9 Representasi tabel klasifikasi dalam bentuk graf

Untuk mencari tanaman yang bisa dikombinasikan untuk tumpang sari, maka kita akan melabeli graf tersebut dengan teknik pewarnaan graf. Langkah awal adalah membuat tabel derajat tiap simpul, lalu memberi warna pada simpul yang tidak bersisian.

Simpul	**Derajat**	**Varian Label 1**	**Varian Label 2**
0	3	**2**	**2**
1	5	**1**	**1**
2	3	**3**	**2**
3	3	**2**	**3**
4	3	**3**	**4**
5	3	**4**	**3**

Dilihat dari tabel diatas, maka kita dapat menyimpulkan bahwa pasangan tanaman yang bisa ditumpang sarikan berdasarkan peran adalah **jagung-semangka**, **jagung-labu**, **kedelai-semangka**, dan **buncis-labu**.

Tentunya klasifikasi tumpang sari tidak hanya berdasarkan peran. Ada beberapa klasifikasi lain seperti tumpang sari dua varietas berdasarkan hubungan timbal-balik antar tanaman, rapat tanaman, dan respons masing-masing tanaman. Semua klasifikasi akan menjadi lebih mudah dengan memanfaatkan teknik pewarnaan graf.

IV. KESIMPULAN

Aplikasi pohon merentang minimum dan pewarnaan graf pada manajemen pertanian memegang peranan penting dalam memenuhi target utama para petani, yaitu mengeluarkan biaya produksi sekecil mungkin, dan menghasilkan keuntungan hasil panen sebesar mungkin.

Pembuatan saluran irigasi dengan bantuan pohon merentang minimum ternyata mampu memotong biaya pembuatan hingga melebihi angka lima puluh persen, dan memotong biaya pemakaian air tiap pengairan mencapain angka tiga persen.

Pencarian kombinasi tanaman untuk pembuatan sistem tumpang saripun bisa dibantu dengan teknik pewarnaan graf, dimana kita dapat merepresentasikannya terlebih dahulu kedalam tabel klasifikasi, lalu membuat representasinya dalam graf, dan melabeli simpul tiap graf, sehingga tanaman yang memiliki label warna sama dapat dikombinasikan untuk tumpang sari.

Manajemen pertanian saat ini tidak boleh bergantung pada ilmu-ilmu yang ada pada teknik pertanian saja, melainkan harus melakukan eksplorasi dan penggabungan dengan ilmu-ilmu di bidang lainnya.

V. APPENDIX

Study	Rotation	Test crop	Emerged weed density in rotation*	Test crop yield in rotation
Stewart and Pittman (1931)†	wheat/sugar beet	wheat	lower	higher
	potato/potato/pea/sugar beet/sugar beet/wheat	wheat	lower	higher
	wheat/red clover/potato/sugar beet/field bean	wheat	lower	higher
	alfalfa (5 yr)/potato/sugar beet/pea/sugar beet/wheat	wheat	lower	higher
	potato/oats/maize/field bean	oats	lower	higher
	alfalfa (3 yr)/oats/sugar beet/sugar beet/oats	oats	lower	higher

Appendix 1 Kombinasi rotasi tanaman beserta tingkat kesuksesannya yang dilakukan oleh Stewart dan Pittman pada tahun 1931

Sumber : Crop Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management, 1993.

		Variable	
Variety	Cropping system	No. of ears/plant	Grain wt./m²
X	Sole crop	1.15	469.3
X	with *A*	1.025	453.5
X	with *B*	0.95	492.8
X	with *C*	1.025	470.4
X	with *D*	0.95	495.0

Appendix 2 Perbandingan berat butir tanaman saat dilakukan tumpang sari dengan beberapa jenis tanaman
Sumber : Statistical Design and Analysis for Intercropping Experiments Volume I: Two Crops.

	Nov. (early stage) (1)	Dec. (crop development) (2)	Jan. (late veg./early reproductive) (3)	Feb. (reproductive) (4)	March (ripening) (5)
ET_0 (mm/day)	2.0	1.8	1.9	2.8	3.0
K_c	0.7	1.2	1.3	1.4	0.8
ET (mm/day)	1.4	2.16	2.47	3.92	2.4
Duration (days)	15	31	31	28	15
Monthly ET (mm)	21	66.96	76.57	109.76	36

Total seasonal ET = Σ ET = 310.29 mm

Appendix 3 Tabel kebutuhan air tanaman yang berubah tiap bulannya

Sumber : Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management,2010.

VI. PENUTUP

Terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat rahmat-Nya yang melimpah, penulis dapat menyelesaikan makalah ini dengan baik. Terima kasih juga penulis ucapkan kepada orang tua serta teman-teman yang terus memberikan dukungan dan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan makalah ini. Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada Bu Harlili, selaku dosen dari mata kuliah Matematika Diskrit Kelas dua. Penulis memohon maaf apabila ada kesalahan pada makalah ini. Kritik dan saran sangat dibutuhkan agar penulis dapat berkembang menjadi lebih baik lagi, sehingga mampu membuat makalah yang jauh lebih baik dari makalah ini.

REFERENSI

[1] Alene, A. D., Manyong, V. M., & Gockowski, J. (2006). The production efficiency of intercropping annual and perennial crops in southern Ethiopia: A comparison of distance functions and production frontiers. *ScienceDirect*.

[2] Ali, M. H. (2010). *Fundamentals of Irrigation and On-farm Water Management.* Mymensingh: Springer.

[3] Allen, D. W., & Lueck, D. (2002). *The Nature of the Farm: Contracts, Risk, and Organization in Agriculture.* Cambridge: The MIT Press.

[4] Brouwer, C., & Prins, K. (1989). Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling.

[5] Cimons, M. (2016, January 15). *Crop Failure and Fading Food Supplies: Climate Change's Lasting Impact (Op-Ed).* Retrieved from LiveScience: https://www.livescience.com/53400-crop-failure-draining-food-supplies-as-planet-warms.html

[6] Federer, W. T. (1993). *Statistical Design and Analysis for Intercropping Experiments Volume I: Two Crops.* New York: Springer-Verlag.

[7] *Harvest Failures*. (2015). Retrieved from alpha history: http://alphahistory.com/frenchrevolution/harvest-failures/

[8] *Indonesia: Irigasi yang Lebih Baik Tingkatkan Hasil Panen dan Hubungan antar Warga*. (2011, September 21). Retrieved from The World Bank: http://www.worldbank.org/in/news/feature/2011/09/21/indonesia-better-irrigation-bringing-better-harvest-relations-among-community

[9] Liebman, M., & Dyek, E. (1993). Crop Rotation and Intercropping Strategies for Weed Management. *Ecological Society of America*.

[10] Mohler, C. L., & Johnson, S. E. (2009). *Crop Rotation on Organic Farms: A Planning Manal.*

[11] Munir, R. (2010). *Matematika Diskrit.* Bandung: INFORMATIKA Bandung.

[12] *Pengaturan Jarak Tanam dan Teknik Ubinan Pada Tanaman Padi*. (2013, February 7). Retrieved from Badan Litbang Pertanian: http://www.litbang.pertanian.go.id/berita/one/1356/

[13] Reddy, R. N. (2010). *Irrigation Engineering.* New Delhi: Gene-Tech Books.

[14] Sonmez, F. K., Apaydin, H., Ozturk, A., & Kodal, S. (2005). Open Canal Irrigation Network Optimization: A Case Study for Burdur-Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences 8*.

[15] Svendsen, M., Wester, P., & Molle, F. (2004). Managing River Basins: an Institutional Perspective. *Irrigation and River Basin Management*, 1-18.

[16] Tardieu, H. (2004). Water Management for Irrigation and Environment in a Water-stressed Basin in Southwest France. *Irrigation and River Basin Management*, 93-108.

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, 3 Desember 2017

Nicholas Rianto Putra, 13516020