

Penjadwalan Liga Sepak Bola Menggunakan Pewarnaan Graf untuk Meminimalkan Konflik Jadwal

Kefas Kurnia Jonathan - 13523113¹

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

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

kefaskj@gmail.com, 13523113@std.stei.itb.ac.id

Abstrak—Penjadwalan suatu liga sepak bola harus diselesaikan dengan cermat, mengingat konflik seperti jarak antara stadion, pertandingan rival, maupun masalah logistik dapat menjadi masalah. Penelitian ini mengaplikasikan teori graf, terutama pewarnaan graf untuk meminimalkan konflik di dalam penjadwalan liga sepak bola. Jumlah hari minimum untuk satu matchday dapat ditentukan berdasarkan bilangan kromatik menggunakan pemodelan graf dengan setiap tim sebagai simpul dan konflik sebagai sisi. Konflik dalam penelitian ini hanya mencakup jarak antar stadion tim yang berdekatan ketika keduanya bermain bersamaan di kandang. Menggunakan data jarak stadion Premier League dan LaLiga, dapat ditunjukkan bahwa jumlah hari atau satuan waktu minimal dalam penjadwalan satu matchday Premier League adalah 5 satuan waktu dan LaLiga 4 satuan waktu. Penelitian ini dapat dikembangkan untuk liga ataupun kompetisi lainnya dan diadaptasi untuk faktor konflik yang lebih banyak.

Kata Kunci—Penjadwalan Liga, Pewarnaan Graf, Bilangan Kromatik, Jarak Stadion.

I. PENDAHULUAN

Dalam sebuah liga sepak bola, penjadwalan liga merupakan salah satu tantangan besar yang harus diselesaikan. Dengan tim yang berkisar antara 18-20 tim, artinya dalam satu musim kompetisi liga, setiap tim harus memainkan 34 hingga 38 pertandingan meliputi permainan kandang dan tandang. Dalam satu pertandingan, dimainkan oleh dua tim mengakibatkan total pertandingan di satu musim liga antara 340 hingga 380 pertandingan. Untuk menjadwalkan ratusan pertandingan tanpa adanya konflik tentu bukanlah hal yang mudah. Konflik yang dapat terjadi berbagai macam, mulai dari jarak antar stadion, ketersediaan stadion, derby lokal, maupun logistik perjalanan.

Sebagai contoh, pada liga Inggris – Premier League, contoh konflik yang sering terjadi dapat melibatkan pertandingan rivalitas lokal, sebagai contoh Arsenal melawan Tottenham di London, atau Liverpool melawan Everton di Merseyside. Konflik lain yang dapat terjadi adalah penggunaan stadion yang bersamaan, atau jarak stadion yang berdekatan, contohnya Manchester United dan Manchester City. Selain itu, jarak perjalanan yang jauh antar tim memerlukan waktu yang lebih lama untuk pemulihan, contohnya Brighton ke Newcastle. Oleh karena itu, jadwal harus dibuat sesuai dengan kebutuhan-kebutuhan khusus ini.

Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan untuk menjawab permasalahan ini adalah teori graf, terkhususnya pewarnaan graf yang dipelajari pada mata kuliah IF1220 – Matematika Diskrit. Pewarnaan graf memungkinkan pengelompokan pertandingan

tim yang saling berkonflik ke dalam kelompok yang berbeda supaya pertandingan dapat dijadwalkan tanpa menimbulkan konflik yang ada. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan teori perwarnaan graf untuk meminimalkan konflik jadwal pada penjadwalan liga sepak bola. Dalam hal ini, penelitian akan menggunakan salah satu faktor konflik yaitu jarak stadion yang berdekatan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan solusi matematis untuk meminimalkan konflik jadwal yang bisa meningkatkan efisiensi pengaturan pertandingan sepanjang musim.

Makalah ini dibagi menjadi 5 bagian utama, yaitu pendahuluan dan landasan teori yang berisikan teori dan formula yang digunakan dalam makalah ini. Setelah itu, dilanjutkan ke metode penelitian dan hasil analisisnya. Terakhir, diberikan kesimpulan terkait keseluruhan makalah ini, dan saran jika ingin meneruskan penelitian ini untuk kedepannya.

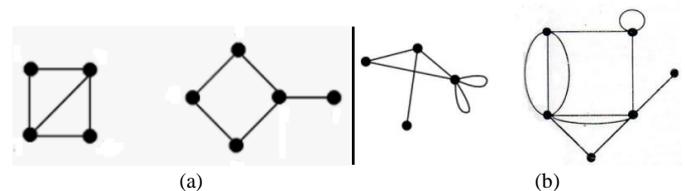
II. LANDASAN TEORI

A. Teori Graf

A.1. Definisi Graf

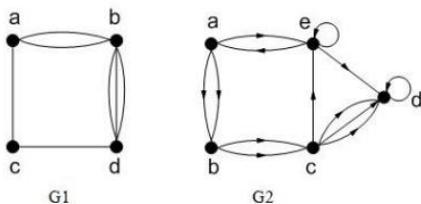
Graf adalah salah satu cara merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut. Sebuah Graf G didefinisikan sebagai $G = (V, E)$, dengan V adalah himpunan tidak kosong dari simpul-simpul (*vertices*) $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ dan E adalah himpunan sisi (*edges*) yang menghubungkan sepasang simpul $\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$. Pada graf, himpunan V tidak boleh kosong, sedangkan himpunan E boleh kosong.

Graf dapat dibedakan jenisnya berdasarkan ada atau tidaknya gelang maupun sisi ganda di dalam graf. Sisi ganda terjadi ketika sebuah sisi menghubungkan dua buah simpul yang sama, sedangkan gelang terjadi ketika sisi berawal dan berakhir pada simpul yang sama. Jika sebuah graf tidak mengandung gelang maupun sisi ganda, maka graf tersebut dinamakan graf sederhana. Akan tetapi, jika graf mengandung sisi ganda ataupun gelang, graf tersebut dinamakan graf tak-sederhana.



Gambar 1. Ilustrasi Graf Sederhana (a), Ilustrasi Graf Tak-sederhana (b)
Sumber: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/15-Teori-Bilangan-Bagian1-2024.pdf>, diakses pada 06/01/2025

Berdasarkan orientasi arah pada sisi graf, sebuah graf dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu graf tak-berarah dan graf berarah. Graf dikatakan tak-berarah ketika sisinya tidak mempunyai orientasi arah, sedangkan graf yang setiap sisinya diberikan orientasi arah maka disebut graf berarah.

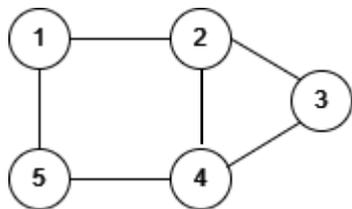


Gambar 2. Ilustrasi Graf Tak-berarah (G1), Ilustrasi Graf Berarah (G2)
 Sumber: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/15-Teori-Bilangan-Bagian1-2024.pdf>, diakses pada 06/01/2025

A.1. Terminologi Graf

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa terminologi graf yang memudahkan penelitian, sebagai berikut:

1. Bertetangga (*Adjacent*)
 Dua buah simpul disebut bertetangga jika keduanya terhubung secara langsung.
2. Bersisian (*Incidency*)
 Pada sebuah sisi $e = (v_j, v_k)$, dapat dikatakan bahwa e bersisian dengan simpul v_j atau e bersisian dengan simpul v_k . Tinjau graf di bawah ini:



Gambar 3. Ilustrasi Graf Sederhana
 Sumber: Arsip Pribadi

Pada graf tersebut, simpul 1 bertetangga dengan simpul 2 dan 5, tetapi tidak bertetangga dengan 4. Sisi (1,2) bersisian dengan simpul 1 dan 2, tetapi tidak dengan simpul 3.

3. Derajat (*Degree*)
 Derajat suatu simpul adalah jumlah sisi yang bersisian dengan simpul tersebut, dilambangkan dengan notasi $d(v)$. Pada gambar 3, dapat dilihat bahwa simpul 1 berderajat 2 (1 dan 5), sedangkan simpul 2 berderajat 3 (1,3,4).
4. Lintasan (*Path*)
 Sebuah lintasan dengan panjang n dari simpul awal v_0 di dalam graf G merupakan barisan selang-seling simpul-simpul dan sisi-sisi.
5. Graf Lengkap (*Complete Graph*)
 Graf lengkap merupakan graf sederhana yang setiap simpulnya mempunyai sisi ke semua simpul lainnya. Pada graf lengkap dengan n buah simpul, jumlah sisi pada graf tersebut adalah $n(n-1)/2$. Graf lengkap dengan n buah simpul dilambangkan dengan K_n .
6. Graf Bipartite (*Bipartite Graph*)
 Sebuah graf disebut bipartite ketika himpunan simpulnya dapat dipisah menjadi dua himpunan bagian V_1 dan V_2 , sehingga setiap sisi pada G menghubungkan sebuah

simpul di V_1 ke sebuah simpul di V_2 dan dinyatakan sebagai $G(V_1, V_2)$.

7. Graf Lingkaran
 Secara sederhana, graf lingkaran adalah graf sederhana yang setiap simpulnya berderajat 2. Sebuah graf lingkaran dengan n simpul dapat dilambangkan dengan C_n .
8. Keterhubungan (*Connected*)
 Dua buah simpul v_1 dan v_2 disebut terhubung jika terdapat lintasan dari v_1 ke v_2 . Jika untuk setiap pasang simpul v_i ke v_j dalam himpunan V terdapat lintasan dari v_i ke v_j , maka graf tersebut dikatakan graf terhubung, berlaku sebaliknya.

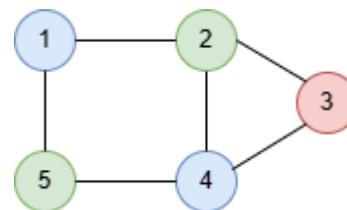
B. Pewarnaan Graf

B.1. Definisi Pewarnaan Graf

Pewarnaan graf terbagi menjadi dua macam, yaitu pewarnaan simpul dan pewarnaan sisi. Pada pewarnaan simpul, pewarnaan graf merupakan teknik pemberian warna pada setiap simpul-simpul graf sedemikian sehingga dua simpul yang bertetangga mempunyai warna berbeda. Pewarnaan graf banyak digunakan di dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu contohnya adalah pewarnaan peta agar dua wilayah yang bertetangga tidak memiliki warna yang sama. Selain itu, pewarnaan graf seringkali juga digunakan untuk penjadwalan agar tidak ada yang bertabrakan.

B.2. Bilangan Kromatik

Bilangan kromatik menunjukkan jumlah minimum warna yang dibutuhkan untuk mewarnai sebuah graf. Simbol bilangan kromatik graf G yang memiliki bilangan kromatis k dilambangkan dengan $\chi(G) = k$. Sebagai contoh, graf di bawah ini memiliki $\chi(G) = 3$.



Gambar 4. Ilustrasi Pewarnaan Graf
 Sumber: Arsip Pribadi

Pada graf kosong, $\chi(G) = 1$ karena semua simpul tidak terhubung, sehingga hanya membutuhkan satu warna. Untuk graf lengkap K_n , graf tersebut memiliki $\chi(G) = n$ karena setiap simpul saling bertetangga, maka memerlukan n buah warna juga. Graf bipartite mempunyai $\chi(G) = 2$, satu untuk simpul-simpul di himpunan V_1 dan satu di himpunan V_2 . Untuk graf lingkaran dengan n ganjil memiliki $\chi(G) = 3$, sedangkan untuk n genap, memiliki $\chi(G) = 2$.

B.3. Algoritma Welsh-Powell

Untuk menemukan bilangan kromatis sembarang graf, dapat menggunakan Algoritma Welsh-Powell. Pertama-tama, hitung derajat setiap simpul di dalam graf, kemudian urutkan simpul-simpul dalam urutan derajat menurun. Setelah itu, warnai simpul

pertama di dalam urutan tersebut dengan warna pertama. Pada simpul selanjutnya, warnai simpul yang tidak bertetangga dengan simpul asal dengan warna yang sama. Ulangi langkah tersebut untuk semua simpul yang belum diwarnai dengan warna yang baru.

C. Konflik Penjadwalan Liga Sepak Bola

C.1. Definisi Konflik dalam Penjadwalan Liga Sepak Bola

Dalam konteks liga sepak bola profesional, konflik dalam penjadwalan dapat terjadi ketika dua tim tidak bermain di waktu yang sama karena beberapa alasan, seperti logistik, keamanan, maupun teknis. Konflik ini dapat muncul dalam berbagai bentuk, seperti:

1. **Konflik Jarak Stadion**
Tim-tim dengan stadion yang berdekatan disarankan untuk tidak bermain di kandang pada waktu yang bersamaan. Hal ini dikarenakan dapat menyebabkan kemacetan lalu lintas maupun peningkatan kebutuhan keamanan karena ramainya wilayah tersebut.
2. **Konflik Derby Lokal**
Pertandingan rivalitas atau *derby* lokal akan menarik perhatian besar dari penggemar, sehingga memerlukan pengaturan jadwal khusus untuk logistik dan keamanan.
3. **Konflik Perjalanan Jauh**
Tim yang harus melakukan perjalanan jauh memerlukan jeda waktu untuk pemulihan, sehingga jadwal yang disusun tidak dapat terlalu berdekatan.



Gambar 5. Ilustrasi Stadion Liverpool dan Everton yang Berdekatan
Sumber: <https://www.facebook.com/thefootballarena/photos/anfield-goodison-park-the-distance-between-two-liverpool-rivals-stadiums-is-983-m/588937760149538/>, diakses pada 06/01/2025

Pada penelitian ini, akan digunakan faktor konflik yaitu stadion antar kedua tim yang berdekatan. Gambar 5 adalah contoh ilustrasi stadion kedua tim yang sangat dekat, sehingga tidak mungkin untuk kedua tim bermain di kandang pada waktu yang bersamaan karena akan membuat kekacauan yang besar. Banyak sumber mengatakan bahwa terakhir kali kedua tim bermain di kandang pada waktu yang bersamaan adalah tahun 1980-an, menunjukkan bahwa hal ini bisa menjadi konflik yang nyata.

C.2. Pengukuran Jarak Stadion untuk Konflik Jarak Stadion

Untuk mendeteksi konflik berdasarkan jarak stadion, dapat dinyatakan aturan konflik berdasarkan jarak sebagai berikut.

Jika jarak antar kedua stadion kurang dari 20 km, stadion dianggap berdekatan dan disarankan untuk kedua tim tidak bermain di kandang pada waktu yang bersamaan. Sedangkan jika jarak kedua stadion lebih dari 200km, perjalanan dianggap cukup jauh sehingga tim memerlukan waktu pemulihan.

Menggunakan data koordinat geografis (lintang dan bujur), kita dapat mencari jarak antara dua stadion dengan rumus Haversine sebagai berikut:

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2} \right)} \right)$$

dengan ϕ adalah lintang (latitude) dari kedua lokasi, λ adalah bujur (longitude) dari kedua lokasi, serta r adalah jari-jari bumi (≈ 6371 km).

C.3. Pewarnaan Graf pada Penjadwalan Liga

Untuk mendeteksi konflik berdasarkan jarak stadion, dapat dinyatakan aturan konflik berdasarkan jarak sebagai berikut. Jika jarak antar kedua stadion kurang dari 20 km, stadion dianggap berdekatan dan disarankan untuk kedua tim tidak bermain di kandang pada waktu yang bersamaan. Setelah itu, setiap tim akan menjadi simpul, dan sisi antara dua simpul akan menunjukkan bahwa tim tersebut memiliki konflik. Menggunakan pewarnaan graf, dapat ditentukan jumlah minimal hari dalam satu matchday agar setiap tim dapat bertanding tanpa terjadinya konflik.

III. METODE PENELITIAN

A. Data dan Variabel

Penelitian ini menggunakan data tim dari liga Inggris – Premier League dan liga Spanyol – LaLiga. Data yang diambil mencakup:

- Nama Stadion: stadion tempat tempat tim tersebut berlatih dan bermain pada laga kandang,
- Koordinat Lintang: koordinat lintang (*latitude*) dari stadion tim tersebut serta,
- Koordinat Bujur: koordinat bujur (*longitude*) dari stadion tim tersebut.

Dengan data tersebut, maka dapat dihitung jarak antar stadion, kemudian menentukan tim mana saja yang kemungkinan berkonflik. Data stadion yang didapatkan dari GitHub Jokecamp sebagai berikut:

Tabel 1. Data Tim dan Stadion Premier League

Nama Tim	Stadion	Lintang	Bujur
Manchester City	Etihad Stadium	53.4829	-2.2002
Arsenal	Emirates Stadium	51.555	-0.1086
Liverpool	Anfield	53.4308	-2.9608
Aston Villa	Villa Park	52.5091	-1.8847
Tottenham Hotspur	White Hart Lane	51.6033	-0.0658
Chelsea	Stamford Bridge	51.4816	-0.1911
Newcastle United	Sports Direct Arena	54.9755	-1.6216
Manchester United	Old Trafford	53.4630	-2.2913
West Ham United	Boleyn Ground	51.5319	0.03944
Crystal Palace	Selhurst Park	51.39833	-0.0855
Brighton	American Express	50.8618	-0.0832

Nama Tim	Stadion	Lintang	Bujur
Bournemouth	Vitality Stadium	50.7352	-1.8383
Fulham	Craven Cottage	51.475	-0.2216
Wolves	Molineux Stadium	52.5902	-2.1302
Everton	Goodison Park	53.43888	-2.9663
Brentford	Gtech Community Stadium	51.4908	0.2888
Nottingham Forest	City Ground	52.94	-1.1327
Southampton	St Mary's Stadium	50.9058	-1.3911
Leicester City	King Power Stadium	52.6202	-1.1422
Ipswich Town	Portman Road	52.0550	1.1448

Tabel 2. Data Tim dan Stadion LaLiga

Nama Tim	Stadion	Lintang	Bujur
Athletic Bilbao	San Mamés	43.2642	-2.9503
Atlético Madrid	Vicente Calderón	40.4017	-3.7206
Barcelona	Camp Nou	41.3808	2.1228
Betis	Benito Villamarín	37.3563	-5.9813
Celta de Vigo	Balaídos	42.2118	-8.7397
Espanyol	Cornellà-El Prat	41.3478	2.07566
Getafe	Coliseum Alfonso Pérez	40.3255	-3.7147
Granada	Nuevo Los Cármenes	37.1529	-3.5957
Osasuna	El Sadar	42.7966	-1.6369
Levante	Ciutat de València	39.4947	-0.3641
Rayo Vallecano	Campo de Vallecas	40.3919	-3.6589
Real Madrid	Santiago Bernabéu	40.4530	-3.6883
Real Sociedad	San Sebastián	43.3013	-1.9736
Sevilla	Ramón Sánchez Pizjuán	37.384	-5.9705
Valencia	Mestalla	39.4746	-0.3583
Valladolid	Nuevo José Zorrilla	41.6444	-4.7611
Villarreal	El Madrigal	39.9441	-0.1036
Mallorca	Iberostar Stadium	39.59	2.63
Deportivo La Coruña	Riazor	43.3687	-8.4175
Málaga	La Rosaleda	36.7340	-4.4264

B. Prosedur Analisis

Data tersebut dapat diolah untuk menemukan jarak stadion antar tim dengan yang lainnya, menggunakan rumus Haversine.

Rumus:

$$d = 2r \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\phi_1 - \phi_2}{2} \right) + \cos(\phi_1) \cos(\phi_2) \sin^2 \left(\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{2} \right)} \right)$$

Dengan ϕ adalah koordinat lintang stadion, λ adalah koordinat bujur stadion, serta r adalah jari-jari bumi. Sesuai dengan jarak konflik yang digunakan yaitu kurang dari 20 km, maka didapatkan data konflik antar tim sebagai berikut:

Tabel 3. Data Tim Premier League yang Konflik

Nama Tim A	Nama Tim B	Jarak antar stadion (km)
Everton	Liverpool	0.97
Chelsea	Fulham	2.24
Arsenal	Tottenham Hotspur	6.13

Manchester City	Manchester United	6.42
Arsenal	Chelsea	9.95
Arsenal	West Ham United	10.55
Tottenham Hotspur	West Ham United	10.77
Chelsea	Crystal Palace	11.81
Arsenal	Fulham	11.85
Fulham	Crystal Palace	12.72
Chelsea	Tottenham Hotspur	16.06
Chelsea	West Ham United	16.91
Crystal Palace	West Ham United	17.20
Arsenal	Crystal Palace	17.49

Tabel 4. Data Tim LaLiga yang Konflik

Nama Tim A	Nama Tim B	Jarak antar stadion (km)
Valencia	Levante	2.29
Betis	Sevilla	3.22
Atletico Madrid	Rayo Vallecano	5.33
Barcelona	Espanyol	5.38
Atletico Madrid	Real Madrid	6.33
Rayo Vallecano	Real Madrid	7.24
Atletico Madrid	Getafe	8.48
Getafe	Rayo Vallecano	8.76
Getafe	Real Madrid	14.35

C. Perhitungan

Untuk memudahkan perhitungan dan visualisasi penggambaran, pada penelitian ini dibuat kode *python* yang mampu untuk membaca *csv* data tim sebuah liga beserta koordinat stadionnya, kemudian menghitung jarak antar stadionnya dan menentukan tim mana saja yang mengalami konflik karena jarak stadion yang terlalu dekat (kurang dari 20 km). Selain itu, program juga menampilkan visualisasi pewarnaan grafnya

Program dibuat dengan bantuan pustaka *pandas* untuk membaca dan mengolah data di file *csv*, pustaka *math* untuk bantuan menghitung rumus Haversine, pustaka *networkx* untuk membuat dan manipulasi graf, dan *matplotlib* untuk visualisasi data dan pembuatan grafik. Hasil dari eksekusi program pada terminal untuk data Premier League sebagai berikut:

```

Output Terminal Data LaLiga

Conflicted Teams and Their Distances:
-----
Everton - Liverpool | 0.97 km (TOO CLOSE)
Chelsea - Fulham | 2.24 km (TOO CLOSE)
Arsenal - Tottenham Hotspur | 6.13 km (TOO CLOSE)
Manchester City - Manchester United | 6.42 km (TOO CLOSE)
Arsenal - Chelsea | 9.95 km (TOO CLOSE)
Arsenal - West Ham United | 10.55 km (TOO CLOSE)
Tottenham Hotspur - West Ham United | 10.77 km (TOO CLOSE)
Chelsea - Crystal Palace | 11.81 km (TOO CLOSE)
Arsenal - Fulham | 11.85 km (TOO CLOSE)
Fulham - Crystal Palace | 12.72 km (TOO CLOSE)
Chelsea - Tottenham Hotspur | 16.06 km (TOO CLOSE)
Chelsea - West Ham United | 16.91 km (TOO CLOSE)
Crystal Palace - West Ham United | 17.20 km (TOO CLOSE)
Arsenal - Crystal Palace | 17.49 km (TOO CLOSE)
West Ham United - Brentford | 17.85 km (TOO CLOSE)
Fulham - Tottenham Hotspur | 17.88 km (TOO CLOSE)
Aston Villa - Wolverhampton Wanderers | 18.89 km (TOO CLOSE)
Fulham - West Ham United | 19.15 km (TOO CLOSE)

Generated Schedule (Conflicting Teams Only):
-----
Day 1: West Ham United , Aston Villa , Everton , Manchester City
Day 2: Arsenal , Liverpool , Manchester United , Wolverhampton Wanderers , Brentford
Day 3: Chelsea
Day 4: Fulham
Day 5: Tottenham Hotspur , Crystal Palace

```

Gambar 6. Hasil Eksekusi Data Premier League di Terminal

Sedangkan hasil eksekusi program untuk data LaLiga dapat dilihat sebagai berikut:

```

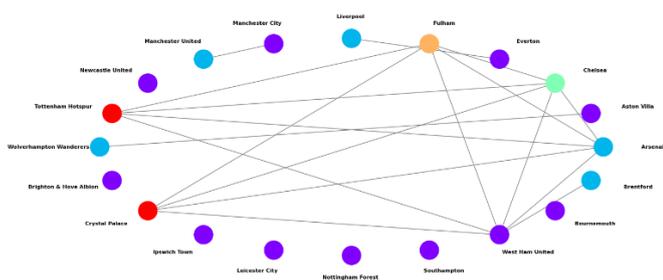
Output Terminal Data LaLiga

Conflicted Teams and Their Distances:
-----
Valencia          - Levante          | 2.29 km (TOO CLOSE)
Betis             - Sevilla         | 3.22 km (TOO CLOSE)
Atlético Madrid  - Rayo Vallecano  | 5.33 km (TOO CLOSE)
Barcelona        - Espanyol        | 5.38 km (TOO CLOSE)
Atlético Madrid  - Real Madrid     | 6.33 km (TOO CLOSE)
Rayo Vallecano   - Real Madrid     | 7.24 km (TOO CLOSE)
Atlético Madrid  - Getafe          | 8.48 km (TOO CLOSE)
Getafe           - Rayo Vallecano  | 8.76 km (TOO CLOSE)
Getafe           - Real Madrid     | 14.35 km (TOO CLOSE)
-----

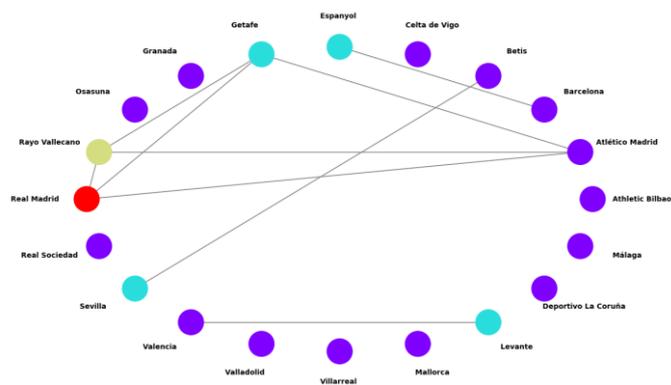
Generated Schedule (Conflicting Teams Only):
-----
Day 1: Atlético Madrid , Barcelona , Betis , Valencia
Day 2: Getafe , Espanyol , Sevilla , Levante
Day 3: Rayo Vallecano
Day 4: Real Madrid
    
```

Gambar 7. Hasil Eksekusi Data LaLiga di Terminal

Selain menampilkan grup warna, program ini juga menampilkan visualisasi pewarnaan graf sebagai berikut:



Gambar 8. Gambar Graf Berwarna Premier League Hasil Eksekusi Program



Gambar 9. Gambar Graf Berwarna LaLiga Hasil Eksekusi Program

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Berdasarkan pengolahan data, didapatkan bahwa Premier League memiliki 19 pasangan tim dengan stadion yang berjarak kurang dari 20 km, contohnya yang paling dekat adalah stadion Liverpool – Anfield dan Everton – Goodison Park dengan jarak kurang dari 1 km. Sedangkan dalam LaLiga, ditemukan 9 pasangan tim yang memiliki konflik jarak, seperti contohnya yang paling dekat adalah stadion Valencia – Mestalla dan Levante – Ciutat de València.

Setelah melalui pewarnaan graf, pada Premier League menunjukkan bahwa tim dengan konflik dapat dikelompokkan ke dalam 5 grup warna, sehingga dapat ditentukan bahwa pada Premier League, jumlah minimum hari dalam satu matchday adalah 5 hari. Pada LaLiga, pewarnaan graf menunjukkan bahwa tim yang konflik dapat dikelompokkan ke dalam 4 grup warna. Hal ini menunjukkan bahwa jumlah minimum hari dalam satu matchday agar tidak terjadi konflik adalah 4 hari.

Pewarnaan graf dapat terlihat pada gambar 8 dan gambar 9. Pewarnaan dimulai dari simpul dengan derajat tertinggi, kemudian dilanjutkan mewarnai simpul yang derajatnya lebih rendah yang bertetangga dengan yang sudah memiliki warna. Setiap tim menjadi satu simpul, dan jika terdapat konflik antara kedua tim maka dibentuk sisi. Pewarnaan simpul menunjukkan grup yang bebas konflik di hari yang sama.

A. Pembahasan

Setelah melalui pewarnaan graf, Premier League memiliki 5 grup warna, yang menunjukkan jumlah minimum hari atau waktu dalam satu matchday agar tidak terjadi konflik. Sebagai contoh, pada grup pertama, terdapat West Ham United, Aston Villa, Everton dan Manchester City. Artinya, keempat tim ini bisa bermain di kandang (bermain di stadion milik mereka) pada waktu yang bersamaan, dan tidak akan menimbulkan konflik karena jarak stadion yang terlalu dekat di tempat mereka bermain. Sedangkan tim sisanya yang tidak konflik dengan tim manapun, dapat bebas bermain di kandang mereka kapanpun karena tidak akan menimbulkan konflik.

Di sisi lain, LaLiga memiliki 4 grup warna, 1 grup lebih sedikit dibandingkan Premier League, yang menunjukkan LaLiga dapat dimainkan minimal 4 hari atau waktu dalam satu pekan matchday untuk menghindari konflik. Contohnya, pada grup pertama terdapat Atletico Madrid, Barcelona, Betis, dan Valencia. Keempat tim ini dapat bermain di kandang mereka secara bersamaan. Akan tetapi, jika tim dari grup yang berbeda bermain di kandang pada waktu yang bersamaan, sebagai contoh Atletico Madrid (grup 1) dan Real Madrid (grup 2) maka dapat terjadi konflik karena jarak stadion tempat kedua tim bermain tergolong dekat.

Pada kenyataannya, Premier League seringkali dimainkan dalam 3 hari saja setiap matchday-nya. Akan tetapi, meskipun 3 hari, terdapat 2 hari dengan waktu yang berbeda, sehingga mengalokasikan 5 slot waktu dalam satu pekan. Sama halnya dengan LaLiga, biasanya sering dimainkan dalam 3 atau 4 hari saja setiap matchday-nya. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pewarnaan graf adalah metode yang cukup efektif untuk menyelesaikan masalah penjadwalan liga sepak bola. Dengan menentukan bilangan kromatik, jumlah minimum hari atau waktu dapat diperoleh tanpa konflik yang terjadi.

Metode ini dapat diterapkan langsung untuk berbagai macam kompetisi dan liga lainnya untuk menyusun jadwal. Secara teori dalam penelitian ini, semakin besar penyebaran lokasi stadion di dalam liga tersebut, maka semakin sedikit jumlah minimum hari atau waktu yang diperlukan untuk menghindari konflik. Akan tetapi, tentunya terdapat faktor lain yang harus dipertimbangkan seperti rivalitas antar klub, logistik perjalanan, atau kebutuhan media.

V. KESIMPULAN

Penjadwalan suatu liga dengan cermat merupakan hal yang penting agar tidak terjadi konflik yang menimbulkan permasalahan lainnya, seperti kemacetan, maupun kekacauan. Penelitian ini mampu membuktikan bahwa aplikasi teori graf, terutama pewarnaan graf dapat digunakan untuk meminimalkan konflik jadwal dalam penjadwalan liga sepak bola. Bilangan kromatik atau grup warna yang didapatkan dapat menjadi acuan berapa jumlah minimal hari atau waktu yang dibutuhkan untuk menjadwalkan liga tanpa terjadi konflik.

Dengan demikian, diharapkan penelitian ini diharapkan dapat berguna untuk penjadwalan liga ataupun kompetisi lainnya, juga menjadi contoh pengaplikasian sederhana dari Matematika Diskrit dalam kehidupan sehari-hari.

VI. SARAN

Saran untuk peneliti selanjutnya adalah pengembangan faktor konflik, seperti rivalitas antar tim, preferensi waktu siaran TV, dan semacamnya untuk memberikan hasil yang lebih akurat. Selain itu, metode ini dapat diujikan untuk liga lain selain Premier League dan LaLiga untuk melihat efektivitasnya pada kompetisi dengan karakteristik yang berbeda.

VII. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama, saya mengucapkan puji dan syukur setinggi-tingginya kepada Tuhan Yang Maha Esa karena sudah memberikan saya kekuatan dan kesempatan untuk menyelesaikan makalah dengan judul "Penjadwalan Liga Sepak Bola Menggunakan Pewarnaan Graf untuk Meminimalkan Konflik Jadwal". Terima kasih kepada keluarga yang selalu menjadi motivasi penulis dan menjadi dorongan untuk terus melangkah maju. Selain itu, saya juga berterima kasih kepada Dr. Ir. Rinaldi, M.T. selaku dosen mata kuliah IF1220 Matematika Diskrit atas jasanya yang telah mengajar saya dengan gebrakannya yang luar biasa. Terima kasih untuk seluruh pihak yang membantu penulis menyelesaikan makalah ini. Terakhir, terima kasih untuk Real Madrid yang selalu ada di hati penulis, Hala Madrid!

LAMPIRAN

Data stadion sepak bola dapat dilihat pada GitHub akun *jokecamp* bagian *FootballData*, dapat diakses pada link berikut: <https://github.com/jokecamp/FootballData/blob/master/other/stadiums-with-GPS-coordinates.csv#L1>

Kode yang digunakan dalam makalah ini dapat diakses melalui akun GitHub pribadi penulis pada link berikut: <https://github.com/hgnhao/makalah-matdis>

Video makalah dapat diakses pada link youtube berikut: <https://youtu.be/NSpBiRvCBG8>

REFERENSI

- [1] Munir, Rinaldi. "IF1220 Matematika Diskrit – Semester I Tahun 2024/2025", 2024. Tersedia pada: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/matdis24-25.htm>, diakses pada 06/01/2025.
- [2] "Haversine formula to find distance between two points on a sphere", 2022. Tersedia pada: <https://www.geeksforgeeks.org/haversine-formula-to-find-distance-between-two-points-on-a-sphere/>, diakses pada 06/01/2025.
- [3] Lewis, Rhyd, and J. Thompson. "On the application of graph colouring techniques in round-robin sports scheduling." *Computers & Operations Research* 38.1 (2011): 190-204. Tersedia pada: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0305054810000961>, diakses pada 06/01/2025
- [4] Amelia, Norma Sukma. "Application of Graph Coloring in Scheduling Interim Standings of the Medali Cup U13 2022 Tournament With a Round-Robin System. 2024. Diakses pada 06/01/2025

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, 6 Januari 2025



Kefas Kurnia Jonathan - 13523113