

Aplikasi Pewarnaan Graf dalam Strategi Pertahanan Pasca-Tanam (*Post-Plant*) di Game Valorant

Fayyaz Akmal Lauda - 13524076

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung

E-mail: fayyazakmallauda@gmail.com , 13524076@std.stei.itb.ac.id

Abstract—Konsep pewarnaan graf (*graph coloring*) dapat digunakan dalam merancang strategi pertahanan pada skenario *post-plant* di permainan Valorant. Posisi-posisi bertahan kunci dimodelkan sebagai simpul (*vertex*) dalam graf, sedangkan konflik garis pandang di antara posisi-posisi tersebut direpresentasikan sebagai sisi (*edge*). Tujuannya adalah menentukan penempatan pemain pada posisi-posisi bertahan sehingga setiap jalur masuk kritis dijaga oleh minimal satu agen, dan tidak ada agen yang harus menjaga dua jalur masuk yang berkonflik secara bersamaan. Hasilnya, kerangka pewarnaan graf terbukti valid sebagai alat bantu yang objektif dan sistematis dalam merencanakan pertahanan *post-plant* dan mampu mengurangi ketergantungan pada intuisi murni.

Keywords—pewarnaan graf, graf, valorant, post-plant, strategi pertahanan.

I. PENDAHULUAN

Valorant adalah gim First-Person Shooter (PFS) taktis 5v5 di mana salah satu skenario paling krusial adalah fase pasca-tanam (*post-plant*). Setelah tim penyerang berhasil menanam *spike* (bom), mereka berubah peran menjadi tim bertahan yang harus melindungi *spike* selama ~45 detik hingga meledak. Sementara itu, tim defender (yang semua bertahan) harus melakukan *retake* untuk merebut Kembali *site* dan menjinakkan *spike* sebelum meledak. Fase *post-plant* ini yang sering menentukan hasil ronde permainan; statistik menunjukkan sebagian besar ronde kompetitif ditentukan pada fase ini.



Gambar 1.1 Tampilan permainan Valorant saat bermain (sumber: <https://store.epicgames.com/en-US/p/valorant>)

Strategi pertahanan *post-plant* beragam, mulai dari taktik pasif (bertahan dari jarak jauh dengan *line-up* utilitas). Problem utama dalam skenario ini adalah alokasi sumber daya pemain

yang terbatas untuk mengawasi berbagai sudut atau jalur masuk secara simultan. Banyak posisi bertahan yang strategis memiliki konflik *line-of-sight*, artinya seorang pemain yang fokus mengawasi satu sudut bisa terekspos dari sudut lain. Hal ini menciptakan dilema optimasi: bagaimana menempatkan pemain sedemikian rupa sehingga semua jalur masuk penting dapat ter-cover, sambil meminimalkan kerentanan akibat konflik garis pandang?

Pendekatan tradisional dalam merencanakan strategi pertahanan sering mengandalkan intuisi dan pengalaman pemain semata. Namun, lingkup e-sport kompetitif telah bergerak ke arah yang lebih analitis dan berbasis data. Analisis data dan alat kuantitatif lainnya mulai digunakan untuk membedah kinerja tim dan mengoptimalkan strategi dengan presisi yang lebih tinggi. Penelitian ini berupaya untuk menerapkan teori matematika diskrit dalam konteks taktik Valorant, dengan hipotesis bahwa teori graf, khususnya pewarnaan graf dapat memberikan penyelesaian dari permasalahan penempatan pemain dalam *post-plant*.

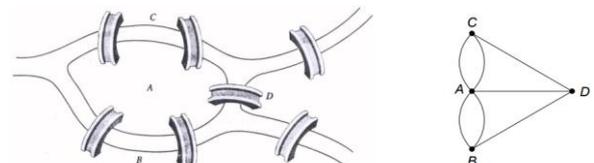
II. LANDASAN TEORI

A. Graf

Graf merupakan cabang matematika diskrit yang mempelajari struktur yang terdiri atas himpunan simpul (*vertex*) dan himpunan sisi (*edges*) yang menghubungkan pegangan simpul. Secara formal graf didefinisikan sebagai

$$G = (V, E)$$

Dengan V adalah himpunan tak kosong dari simpul dan E adalah himpunan sisi yang menghubungkan dua simpul dalam V . Graf biasanya digambarkan berupa diagram, dengan lingkaran-lingkaran sebagai simpul dan garis di antara dua lingkaran sebagai himpunan sisi.



Gambar 2.1 Contoh persoalan graf jembatan Königsberg (sumber: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/20-Graf-Bagian1-2024.pdf>)

Teori graf banyak digunakan untuk memodelkan hubungan antar entitas dalam domain seperti jaringan komputer, hubungan sosial, hingga struktur spasial dalam gim.

B. Pewarnaan Graf

Pewarnaan graf (*graph coloring*) merupakan topik fundamental dalam teori graf. Pewarnaan graf merujuk pada pemberian warna pada simpul-simpul graf dengan syarat tidak ada dua simpul bertetangga (terhubung langsung oleh sebuah sisi) yang memiliki warna yang sama. Pewarnaan yang memenuhi kondisi tersebut disebut pewarnaan yang sah (*proper coloring*). Bilangan kromatik (*chromatic number*) dari sebuah graf dilambangkan dengan $\chi(G)$, adalah jumlah minimum warna yang dibutuhkan untuk mewarnai graf secara *proper*. Secara formal, pewarnaan simpul dapat didefinisikan sebagai fungsi $f: V(G) \rightarrow C$ yang memetakan setiap simpul v di $V(G)$ ke suatu warna $f(v)$ sedemikian hingga untuk setiap sisi (u, v) di $E(G)$ berlaku $f(u) \neq f(v)$. Konsep ini sederhana namun berguna, karena banyak permasalahan optimasi dapat direduksi menjadi masalah pewarnaan graf. Contoh klasik di mana teori pewarnaan graf sering digunakan adalah masalah pewarnaan peta, di mana setiap region/wilayah dianggap sebagai simpul, dan sisi menghubungkan dua wilayah yang berbatasan langsung; pewarnaan graf memastikan wilayah yang bertetangga diberi warna yang berbeda. Hasil terkenal terkait hal ini adalah Teorema Empat Warna yang menyatakan bahwa graf planar (seperti graf yang merepresentasikan peta datar) dapat diwarnai dengan tidak lebih dari 4 warna.

Menemukan bilangan kromatik untuk graf umum merupakan masalah NP-sukar secara komputasi (NP-sukar). Artinya, tidak ada algoritma waktu polinomial yang diketahui untuk menentukan pewarnaan optimum (minimum) pada graf sembarang. Namun, dalam aplikasi praktis berbagai algoritma heuristik dan *greedy* dapat digunakan untuk menghasilkan Solusi pewarnaan yang mendekati optimal dalam waktu yang wajar. Hal ini penting mengingat dalam konteks permainan, Solusi perlu diperoleh dengan cepat dan efisien.

C. Valorant

Valorant adalah permainan first-person shooter (FPS) kompetitif 5v5 yang dikembangkan oleh Riot Games dan dirilis secara global pada tahun 2020. Permainan ini menggabungkan elemen mekanika tembak-menembak presisi ala Counter-Strike dengan kemampuan unik berbasis agen yang bersifat taktis seperti dalam Overwatch. Setiap pertandingan terdiri dari dua tim, yaitu tim penyerang (*attacker*) dan tim bertahan (*defender*), yang bergantian memainkan dua peran utama tersebut dalam ronde-ronde permainan.

a. Struktur Peta dan *Site Plant*

Peta-peta di Valorant didesain sebagai ruang spasial berdimensi dua dengan berbagai jalur masuk (*entry points*), *choke points*, dan lokasi *plant* yang disebut *site* (biasanya dua atau tiga per peta, contohnya *Site A*, *B*, dan

C). Pada fase penyerangan, tim *attacker* akan berupaya menanam *Spike* di salah satu *site*, sedangkan tim defender berusaha mencegah atau merebut kembali *site* jika *Spike* sudah tertanam. Peta dalam Valorant bersifat simetris sebagian, dan jalur antar *site* memiliki berbagai elevasi serta rintangan pandangan (*line-of-sight blockers*), menciptakan kompleksitas taktis yang tinggi.

b. Skenario *Post-Plant*

Salah satu fase permainan paling kritis adalah fase pasca-tanam (*post-plant*). Setelah tim *attacker* berhasil menanam *Spike*, mereka harus menjaga posisi dan mempertahankan *site* selama ~45 detik hingga *Spike* meledak. Pada fase ini, *attacker* berubah fungsi menjadi "bertahan", dan defender harus melakukan *retake*, yakni masuk kembali ke *site* dan menjinakkan *Spike*. Keberhasilan *post-plant* bergantung pada banyak faktor, termasuk posisi pemain, pemanfaatan kemampuan agen, kontrol sudut, dan informasi tentang jalur masuk musuh.

c. Pentingnya Penempatan Posisi dalam *Post-Plant*

Dalam *post-plant*, *attacker* biasanya menempati beberapa posisi bertahan kunci (*key defensive positions*) di sekitar *site* yang memungkinkan mereka mengawasi jalur-jalur masuk seperti *A Long*, *A Short*, atau *Heaven*, tergantung peta. Posisi ini bersifat saling terkait secara spasial dan memiliki konflik garis pandang, artinya beberapa sudut tidak bisa dijaga secara bersamaan oleh satu pemain tanpa membelakangi sudut lainnya. Inilah yang membuat alokasi posisi menjadi masalah strategis yang penting.

D. Graf dan Taktik Area dalam Game

Teori graf telah banyak diaplikasikan dalam memodelkan taktik area dan desain level pada permainan. Representasi graf memungkinkan pengkajian hubungan antar posisi atau area secara sistematis. Misalnya, Narozniak (2020) menunjukkan penerapan konsep *vertex cover* dan *set independen* untuk menentukan penerapan fasilitas secara optimal dalam peta gim.

Dalam konteks permainan FPS Valorant, graf dapat digunakan untuk memodelkan taktik pertahanan area pada level map. Peta arena dapat direpresentasikan sebagai Kumpulan simpul yang terhubung oleh sisi-sisi sesuai konektivitas antar posisi. Setiap simpul mewakili suatu posisi kunci atau sudut penjagaan (contoh: pojok dalam *site*, *chokepoint*, atau area *high-ground* seperti *Heaven*), sedangkan sisi antar simpul menandakan adanya konektivitas langsung antara dua posisi tersebut. Sisi menunjukkan bahwa dua posisi berdekatan sedemikian rupa sehingga satu pemain tidak dapat secara efektif menjaga kedua posisi itu sekaligus tanpa berpindah. Dengan kata lain, jika dua posisi dihubungkan dengan sisi, maka keduanya tidak boleh dijaga oleh pemain yang sama secara bersamaan. Sebaliknya, jika dua posisi tidak terhubung oleh sisi, artinya tidak ada konflik garis pandang langsung di antara keduanya, sehingga dimungkinkan (secara teori) satu pemain yang *mobile* dapat mengawasi keduanya karena perpindahan tidak menimbulkan risiko ditinggalkan musuh.

Konsep pewarnaan graf kemudian diadopsi: memberi warna yang sama pada dua simpul ekuivalen dengan menyatakan kedua posisi itu dijaga oleh pemain (agen) yang sama; sementara adanya sisi antara dua simpul memaksa kedua simpul tersebut berbeda warna (harus dijaga oleh pemain yang berbeda). Dengan demikian, solusi pewarnaan graf yang optimal (dengan jumlah warna minimum) akan secara langsung memberikan jumlah minimum pemain yang diperlukan untuk meng-cover semua posisi kunci tanpa konflik penjagaan, sekaligus menentukan kelompok posisi mana saja yang bisa dipegang oleh pemain yang sama.

Ilustrasi sederhana: misalkan sebuah *site* memiliki 3 jalur masuk terpisah yang semuanya perlu diawasi, misalnya A short, A long, dan Heaven pada *site* A di peta Haven. Kita dapat membentuk graf dengan 3 simpul, masing-masing mewakili posisi penjagaan untuk setiap jalur masuk tersebut. Dua simpul dihubungkan oleh sisi jika sudut/jalur masuk terkait tidak mungkin dijaga efektif oleh satu pemain secara bersamaan. Dalam contoh Haven A ini, ketiga simpul saling terhubung (graf K_3), karena setiap pasangan jalur datang dari arah berbeda (masuk dari A long vs A short vs Heaven) sehingga seorang pemain tidak bisa berada di posisi yang mengawasi dua di antaranya sekaligus. Graf K_3 memiliki bilangan kromatik $\chi = 3$, artinya dibutuhkan minimal 3 pemain untuk menjaga ketiga jalur tersebut secara bersamaan tanpa ada jalur yang dibiarkan terbuka. Interpretasi taktisnya: tim membutuhkan 3 agen, masing-masing ditempatkan di posisi yang mengawasi A long, A short, dan Heaven. Jika tim hanya memiliki 2 pemain tersisa dalam skenario *post-plant* ini, maka minimal satu jalur masuk akan tidak ter-cover, menjadi *blind spot* yang berisiko. Hal ini konsisten dengan analisis graf bahwa K_3 tidak dapat diwarnai dengan 2 warna. Contoh ini menunjukkan korelasi langsung antara konsep pewarnaan graf dan penugasan pemain pada area taktis: bilangan kromatik graf setara dengan jumlah pemain unik yang paling tidak harus ada untuk mengawasi semua *entry point* penting secara serentak.

III. METODE

A. Pemodelan Skenario Post-Plant sebagai Graf

Untuk mendemonstrasikan pendekatan pewarnaan graf, penelitian ini berfokus pada satu studi kasus utama: pertahanan *site* A pada map Haven oleh tim penyerang setelah *spike* ditanam. *Site* A Haven dipilih karena memiliki beberapa jalur masuk utama yang umum digunakan saat *retake*, yaitu A Long, A Short (Sewers), dan Heaven (CT spawn). Skenario diasumsikan sebagai berikut: tim penyerang berhasil menanam *spike* di lokasi tanam di *site* A, lalu harus bertahan selama ~45 detik hingga *spike* meledak, sementara tim defender akan menyerang kembali melalui jalur-jalur masuk tersebut. Tujuan tim penyerang adalah menjaga agar tidak ada defender yang berhasil mencapai *spike* untuk melakukan *defuse*, dengan menutup semua jalur masuk yang tersedia.



Gambar 3.1 Gambar peta Haven di game Valorant (sumber: <https://playvalorant.com/en-us/maps/>)

Berdasarkan skenario di atas, kita bisa melakukan pemodelan graf sebagai berikut: didefinisikan graf tak berarah $G = (V, E)$ yang merepresentasikan situasi pertahanan *site* A Haven.

- Himpunan simpul (V): Setiap simpul merepresentasikan posisi bertahan kunci yang harus dijaga untuk mengawasi jalur masuk tertentu. Dalam kasus ini, kita identifikasi tiga posisi kunci, masing-masing berkaitan dengan satu jalur masuk:
 - $v1$: Posisi penjagaan untuk mengawasi jalur A Long (contoh: bisa di spot belakang kotak di A Long).
 - $v2$: Posisi penjagaan untuk A Short/ U-Hall (contoh: di dalam U-Hall atau di sisi site di balik *cover* yang melihat ke arah A Short).
 - $v3$: Posisi penjagaan untuk Heaven/ CT Spawn (contoh: di platform Heaven yang mengawasi area CT menuju *site* A).
- Himpunan sisi (E): Setiap *edge* menghubungkan dua simpul yang tidak dapat diawasi secara efektif oleh satu pemain yang sama secara bersamaan. Kriteria konflik penjagaan ini didasarkan pada jarak dan sudut pandang:
 - $v1$ (A Long) terhubung dengan $v2$ (A Short), karena seorang pemain yang posisinya fokus ke A Long tidak mungkin sekaligus memperhatikan A Short tanpa meninggalkan posisinya atau melepaskan pandangan dari A Long.
 - $v1$ (Long) terhubung dengan $v3$ (Heaven), karena A Long dan Heaven merupakan sudut yang berlawanan arah (pemain yang melihat ke A Long akan membelakangi Heaven, dan sebaliknya).
 - $v2$ (A Short) terhubung dengan $v3$ (Heaven), karena pemain yang berada di U-Hall/A

Short akan rentan tertembak dari arah Heaven jika mencoba mengawasi keduanya sekaligus dan demikian pula sebaliknya.



Gambar 3.2 Tampilan posisi agen di A Short map Haven Valorant



Gambar 3.3 Tampilan posisi agen di A Long map Haven Valorant



Gambar 3.4 Tampilan posisi agen di Heaven platform map Haven Valorant

Tabel 3.1 Simpul Posisi Bertahan

No.	Simpul	Jalur Masuk	Posisi Penjagaan
1	v1	A Long	Belakang Box A Long
2	v2	A Short	Dalam U-Hall
3	v3	Heaven	Heaven Platform

Tabel 3.2 Relasi Konflik Antar Posisi

No.	Sisi	Keterangan
1	(v1, v2)	A Long konflik dengan A

2	(v1, v3)	A Long konflik dengan Heaven
3	(v2, v3)	A Short konflik dengan Heaven

Berdasarkan hubungan di atas, graf G yang terbentuk adalah graf lengkap dengan tiga simpul K_3 , di mana setiap pasangan simpul terhubung oleh sisi. Graf lengkap ini mencerminkan fakta bahwa ketiga jalur masuk di *site* A Haven saling terpisah secara posisi, sehingga setiap kombinasi dua jalur tidak mungkin diamankan oleh satu orang tanpa ada celah.



Gambar 3.5 Graf yang terbentuk dari 3 titik simpul penjagaan *site* A

Setelah graf G dibangun, masalah penempatan pemain beralih menjadi masalah pewarnaan graf, kita harus menentukan cara mewarnai simpul-simpul v_1, v_2, v_3 sedemikian rupa sehingga tidak ada dua simpul bertetangga yang berwarna sama. Secara taktis, ini berarti menentukan alokasi pemain (setiap warna mewakili satu pemain) agar tidak ada pemain yang harus menjaga dua posisi konflik sekaligus. Bilangan kromatik dari graf tersebut memberi jawaban minimal: berapa jumlah minimum pemain (warna) yang diperlukan untuk mewarnai graf secara *proper*, yaitu untuk menutup semua jalur masuk tanpa konflik penjagaan.

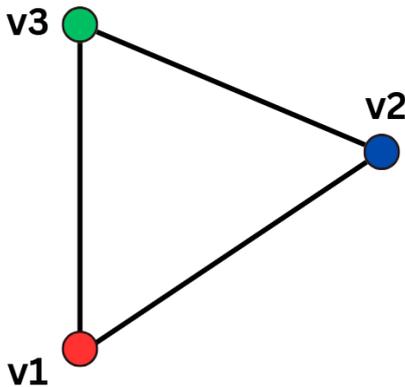
B. Algoritma Pewarnaan Graf

Menemukan solusi pewarnaan optimal untuk graf dapat dilakukan dengan algoritma *brute-force* pada graf kecil, namun pendekatan tersebut tidak skala untuk graf kompleks. Dalam konteks studi ini, karena graf yang kita hadapi relatif sederhana (K_3) solusi optimum dapat langsung diketahui. Graf K_3 membutuhkan 3 warna, karena setiap simpul terhubung dengan simpul lainnya (graf lengkap). Dengan demikian, $\chi(K_3) = 3$ dan solusi pewarnaan graf akan menempatkan setiap simpul v_1, v_2, v_3 dengan warna berbeda. Interpretasi dalam gimnya: dibutuhkan tiga pemain berbeda untuk secara simultan menjaga A Long, A Short, dan Heaven.

Untuk graf yang lebih besar atau berbeda (misalnya skenario lain), penelitian ini menerapkan algoritma pewarnaan heuristik greedy Welsh-Powell. Algoritma Welsh-Powell bekerja dengan cara mengurutkan *vertex* (simpul) berdasarkan derajatnya secara menurun (simpul dengan koneksi terbanyak terlebih dahulu), kemudian mewarnai verteks satu per satu dari daftar tersebut. Setiap verteks diberi warna pertama yang tersedia yang belum digunakan oleh tetangganya yang sudah diwarnai (*greedy coloring*). Pendekatan sederhana tentunya tidak akan selalu menjamin solusi yang optimal, tetapi pada banyak kasus praktis dapat berhasil menghasilkan pewarnaan minimum atau mendekati minimum dengan efisiensi komputasi yang cukup baik. Dalam konteks taktik Valorant, algoritma greedy seperti Welsh-Powell sangat sesuai karena dapat dengan cepat memberikan rekomendasi alokasi pemain bahkan untuk graf yang lebih kompleks, tanpa membutuhkan perhitungan berat yang tidak realistis dilakukan selama permainan berlangsung.

Pada graf K_3 studi kasus Haven A, penerapan algoritma Welsh-Powell akan:

1. Mengurutkan simpul v_1, v_2, v_3 (ketiganya berderajat 2 karena graf lengkap). Urutan bisa v_1, v_2, v_3 (derajat sama, urutan arbitrer).
2. Warnai v_1 dengan warna 1 (misal merah).
3. Untuk v_2 , tetangganya (v_1) berwarna merah, maka beri warna 2 (misal biru).
4. Untuk v_3 , tetangganya v_1 merah dan v_2 biru, maka warna 1 dan 2 terpakai di sekitarnya; beri v_3 warna 3 (misal hijau).
5. Hasilnya konsisten dengan solusi optimum: tiga simpul berwarna merah, biru, hijau masing-masing, yang merepresentasikan tiga pemain berbeda.



Gambar 3.6 Pewarnaan graf K_3 sebagai representasi titik penjagaan Site A Haven

Dalam implementasi yang lebih umum, algoritma Welsh-Powell ini dapat dengan mudah diprogram dan dijalankan untuk berbagai graf *site* Valorant lainnya guna mendapatkan rekomendasi posisi bertahan minimal.

A. Hasil

Pewarnaan graf untuk *site* A Haven menghasilkan bilangan kromatik $\chi(G) = 3$, yang berarti diperlukan minimal 3 pemain untuk menjaga tiga jalur masuk utama (A Long, A Short, Heaven) secara bersamaan tanpa konflik garis pandang. Salah satu solusi pewarnaan ditunjukkan dengan contoh *assignment*: misalnya Player1 (warna merah) ditempatkan di posisi yang mengawasi A Long, Player2 (biru) di posisi A Short, dan Player3 (hijau) di posisi Heaven. Dengan penugasan ini, setiap jalur masuk kritis dijaga oleh pemain yang berbeda, sesuai dengan warna berbeda pada graf, dan tidak ada dua jalur konflik yang ditanggung oleh satu pemain yang sama.

Hasil analisis graf ini sejalan dengan praktik umum dalam taktik pertahanan Valorant. Panduan strategi komunitas menyarankan agar setiap rekan tim memegang jalur masuk berbeda dan tidak semuanya melihat *angle* (sudut) yang sama. Temuan model graf menunjukkan prinsip tersebut secara kuantitatif. Pada *site* A Haven, ketiga pemain masing-masing fokus pada sudut berbeda sehingga tidak terjadi overlap berlebihan dan tidak ada *blind spot* yang bisa dimanfaatkan lawan.

Selain itu, model graf memberikan wawasan ketika jumlah pemain yang tersedia kurang dari kebutuhan ideal. Misalnya, jika tim penyerang di skenario *post-plant* Haven A hanya memiliki 2 pemain tersisa (situasi $2v3$), maka graf K_3 menunjukkan hanya 2 dari 3 jalur yang dapat dijaga secara bersamaan. Dengan kata lain, salah satu jalur masuk pasti terbuka dan menjadi titik lemah karena $\chi(K_3) = 3$ tidak dapat dipenuhi dengan 2 warna/pemain.

Tabel 4.1 Strategi Pertahanan Berdasarkan Jumlah Pemain

No.	Jumlah pemain Tersisa	Jalur yang dijaga	Jalur terbuka	Risiko
1	3	A Long, A Short, Heaven	-	Optimal
2	2	A Short, Heaven	A Long	Medium
3	1	Heaven	A Short, A Long	Tinggi

Secara praktis, tim harus membuat keputusan kritis tentang jalur mana yang akan dikorbankan. Contohnya, tim mungkin memutuskan untuk melepas kontrol A Long dan memfokuskan dua pemainnya untuk menjaga A Short dan Heaven bersama-sama (karena kedua jalur ini dianggap lebih dekat ke *Spike*), atau strategi alternatif sesuai situasi. Analisis semacam ini dapat difasilitasi oleh model graf dengan cara menghapus simpul yang tidak dapat dijaga dan melihat konsekuensi relasinya. Dalam contoh tadi, menghapus *node* v_1 (A Long) dari graf menyebabkan hilangnya sisi-sisi $v_1 - v_2$ dan $v_1 - v_3$; graf sisa menjadi sebuah *edge* antara $v_2 - v_3$. Bilangan kromatik graf baru tersebut $\chi(G) = 2$ (cukup 2 pemain untuk mewarnai graf sisa), konsisten dengan keputusan bahwa dua

pemain dapat menjaga A Short dan Heaven. Informasi ini membantu secara eksplisit menunjukkan jalur mana yang menjadi kelemahan ketika kekurangan pemain, dan strategi pertahanan dapat disesuaikan untuk meminimalkan risiko dari jalur yang dilepas (misal, mewaspadai *flank* atau menggunakan utilitas tambahan untuk jalur tak terjaga).

Untuk melengkapi hasil, penting dicatat bahwa solusi pewarnaan graf juga membagi himpunan simpul menjadi kelompok-kelompok warna. Setiap kelompok simpul dengan warna yang sama merepresentasikan sekumpulan posisi yang dapat dikelola oleh satu pemain tanpa saling konflik. Dalam kasus Haven A (graf K_3), karena setiap simpul terhubung dengan yang lain, tidak ada dua simpul yang memiliki warna yang sama, artinya setiap pemain hanya menangani satu posisi (jalur) spesifik. Namun, pada skenario lain yang grafnya tidak lengkap, bisa jadi $\chi(G)$ lebih kecil dari $|V|$ dan ada beberapa simpul non-konflik yang diwarnai sama. Ini mengindikasikan satu pemain dapat secara aman meng-*cover* beberapa posisi secara bergantian atau dalam satu zona, karena posisi-posisi dalam satu warna tidak memiliki konflik garis pandang langsung di antara mereka. Konsep zona tanggung jawab ini penting untuk strategi yang lebih dinamis: pemain yang ditugaskan pada satu warna bisa berpindah di antara posisi-posisi dalam zonanya untuk mendapatkan informasi atau sudut berbeda, dengan jaminan bahwa saat ia mengawasi satu posisi, ia tidak terekspos dari posisi lain dalam zona yang sama. Meskipun untuk Haven A hal tersebut tidak terjadi (zona setiap pemain hanya satu posisi), konsep ini membuka kemungkinan penerapan pewarnaan graf pada *site* lain di mana satu pemain mungkin dapat merangkap dua posisi yang relatif aman satu sama lain.

B. Pembahasan

Hasil studi kasus *site* A Haven menunjukkan bahwa pendekatan pewarnaan graf mampu memberikan wawasan strategis yang bernilai dalam konteks pertahanan *post-plant*. Dengan memformalkan peta *site* menjadi graf, kita memperoleh cara sistematis untuk menentukan alokasi pemain. Pada Haven A, analisis graf menegaskan perlunya tiga pemain untuk menutup tiga jalur masuk utama secara bersamaan. Temuan ini konsisten dengan pola koordinasi tim yang sering digunakan tim profesional: setiap anggota tim bertanggung jawab pada satu *angle* saat mempertahankan *Spike*. Keunggulan utama dari pendekatan graf adalah sifatnya yang deterministik dan berbasis teori di mana situasi taktis diformulasikan menjadi masalah matematis sehingga solusi yang dihasilkan memiliki landasan yang jelas dan optimal dalam model. Sebagai contoh, dalam skenario apapun, bilangan kromatik $\chi(G)$ memberikan batas bawah jumlah pemain yang dibutuhkan. Jika tim memiliki pemain lebih sedikit daripada $\chi(G)$, maka secara teoritis mustahil untuk menutup semua jalur tanpa celah (kecuali ada faktor lain di luar model, misalnya bantuan utilitas). Informasi ini berguna bagi pelatih atau analis: misalnya, jika tahu $\chi(G) = 3$ untuk *site* A, tapi tim hanya punya 2 pemain, maka sejak awal harus direncanakan jalur mana yang akan dikosongkan atau ditutup dengan cara non-konvensional (seperti *trap* atau *one-way*

smoke), serta bagaimana melakukan *crossfire* atau *trade* yang efektif untuk mengkompensasi kekurangan personel.

Dari sisi kelebihan, model pewarnaan graf memiliki beberapa poin positif:

- Sederhana dan Generik: Representasi graf relatif sederhana dan dapat diaplikasikan ke berbagai peta dan *site* dengan hanya menyesuaikan simpul dan sisi sesuai bentuk map. Prinsip pewarnaan graf tetap sama di semua kasus, sehingga mudah dipahami oleh pemain maupun analis yang familiar dengan konsep dasar.
- Solusi Optimal (Minimum): Pewarnaan graf secara inheren mencari solusi dengan jumlah warna minimum, yang berhubungan dengan jumlah pemain minimum. Ini menjamin tidak ada alokasi pemain berlebih di satu *site*. Jika model menunjukkan 3 pemain cukup, maka menempatkan 4 pemain di *site* tersebut berarti ada potensi inefisiensi di mana satu pemain sebenarnya bisa dialihkan untuk tugas lain (misal, menjaga *flank* atau membantu area lain).
- Deterministik dan Objektif: Berbeda dengan pendekatan *trial-and-error* atau *feeling-based* dalam game, metode graf memberikan jawaban pasti untuk model yang dibangun. Hasil pewarnaan graf dapat dijadikan patokan awal yang objektif, sebelum kemudian disesuaikan oleh tim sesuai kondisi nyata. Dengan kata lain, strategi graf dapat mengurangi bias subjektif dan menyediakan dasar yang bisa diperdebatkan secara logis.

Namun, tentunya keterbatasan model ini juga perlu dibahas, mengingat Valorant merupakan permainan yang kompleks dan dinamis:

- Model Statis vs Dinamika Game: Pemodelan graf yang digunakan bersifat statis, mengasumsikan pemain tetap di satu simpul (posisi) untuk menjaga jalur tertentu. Padahal, dalam kenyataannya pemain dan musuh dapat bergerak, melakukan *peek*, *rotate*, dan menggunakan utilitas secara *real-time*. Sebagai contoh, ada skenario dimana satu pemain dengan gerak cepat atau teknik *jiggle peek* bisa bergantian mengawasi dua jalur masuk (meski berisiko). Hal-hal seperti ini berada di luar jangkauan model pewarnaan graf statis, yang menganggap penjagaan adalah posisi statis.
- Tidak Mempertimbangkan Ketinggian dan Sudut Kompleks: Model graf sederhana tidak membedakan perbedaan ketinggian atau sudut pandang vertikal. Pada *site* Haven A, misalnya, posisi Heaven berada di ketinggian berbeda dari A Short atau A Long, sehingga dalam praktik pemain di Heaven mungkin bisa melihat sekilas ke arah A Long atau memberikan dukungan tembakan ke A Short dengan sudut tertentu. Model graf pada makalah ini menghubungkan Heaven ke kedua jalur lainnya sebagai konflik (sisi) secara umum, namun tidak menangkap nuansa posisi *off-angle* atau *vantage point* yang mungkin memungkinkan satu pemain

mengawasi dua jalur dengan kompromi tertentu. Ini bisa membuat model *over-estimate* jumlah pemain pada situasi tertentu.

- Tidak Mengakomodasi Utilitas Agen secara Penuh: Valorant memiliki agen-agen dengan kemampuan unik yang dapat mempengaruhi penjagaan area. Model graf murni hanya mempertimbangkan kehadiran pemain fisik di posisi. Kenyataannya, tim dapat menggunakan utilitas untuk menutup jalur tanpa menempatkan pemain di sana. Contoh: agen Sentinel seperti Killjoy dapat memasang *turret* atau *alarmbot* untuk mengawasi *flank*, Cypher dengan *Trapwire*, atau penggunaan *molly lineup* (Viper, Brimstone, KAY/O, dll) untuk menahan *defuser* tanpa berada di *site*. Dalam meta *post-plant* tingkat tinggi, bukan hal asing bagi tim penyerang untuk justru meninggalkan *site* sepenuhnya setelah tanam dan bermain dari jarak jauh dengan utilitas (dikenal dengan strat "post-plant lineups"), sehingga tidak semua jalur dijaga pemain karena tujuannya menghindari konfrontasi langsung dan mengulur waktu *defuse*. Model pewarnaan graf akan menilai situasi itu sebagai kekurangan (simpul tak berwarna/pemain), padahal secara strategi hal itu disengaja demi keamanan dan efisiensi.
- Mengabaikan Faktor Waktu dan Koordinasi: Hasil pewarnaan graf memberi tahu siapa menjaga apa, tetapi tidak menjelaskan kapan harus berbuat apa. Padahal *timing* sangat krusial di Valorant. Contohnya, strategi terbaik kadang adalah tidak mengintip sama sekali setelah tanam hingga waktu hampir habis, untuk memaksa musuh panik saat *defuse*. Model graf tidak memiliki dimensi temporal, sehingga rekomendasinya harus dilengkapi dengan panduan *timing* dari pengalaman dan komunikasi tim. Aspek koordinasi seperti *crossfire*, *bait-and-switch*, atau *swinging* serempak juga di luar cakupan model ini.

Terlepas dari beberapa keterbatasan tersebut, pendekatan graf tetap berguna sebagai kerangka awal yang memberikan petunjuk formasi pertahanan. Tim dapat menggunakan hasil pewarnaan graf sebagai titik tolak dalam menyusun strategi, lalu melakukan penyesuaian dinamis berdasarkan informasi aktual di lapangan. Sebagai contoh, jika model merekomendasikan 3 pemain di 3 posisi (seperti kasus Haven A), tim bisa memulai *post-plant* dengan formasi tersebut. Selanjutnya mereka dapat beradaptasi: misalkan salah satu pemain mundur sedikit dari posisinya untuk bermain *line-up* (melepas sementara jalur tersebut), sementara seorang rekan mungkin bergeser menutupi posisi yang ditinggalkan hingga utilitas dipakai. Dengan demikian, strategi berbasis graf tidak bertentangan dengan improvisasi lapangan, justru dapat digabung dengan strategi utilitas dan komunikasi tim untuk hasil optimal.

Lebih luas lagi, penerapan matematika diskrit seperti ini membuka peluang analisis lanjutan di domain e-sport. Bilangan kromatik sebuah *site* dapat dianggap sebagai metrik

formal untuk "tingkat kesulitan pertahanan" *site* tersebut. Sehingga dapat dibandingkan kompleksitas taktis antar *site* dengan melihat $\chi(G)$ masing-masing: *site* yang membutuhkan lebih banyak warna cenderung lebih sulit dipertahankan dengan sedikit pemain, karena memiliki lebih banyak jalur konflik yang tak bisa dirangkap satu pemain. Sebagai ilustrasi, jika suatu *site* B memiliki $\chi(G) = 2$ sedangkan *site* A memiliki $\chi(G) = 3$, maka dapat dikatakan *site* A lebih kompleks secara taktis (membutuhkan 3 pemain idealnya) dibanding *site* B yang hanya butuh 2 pemain untuk menutup semua akses. Analisis ini juga bisa membantu desainer gim dalam menyeimbangkan peta: misalnya, pembuat peta di Riot Games dapat menghitung bilangan kromatik dari desain *site* baru mereka. Bila hasilnya terlalu tinggi (misal $\chi(G) \geq 4$) menandakan *site* tersebut kemungkinan sangat sulit di-*retake* oleh *defender* yang biasanya tersisa 2-3 orang. Data ini bisa menjadi indikator bahwa desain perlu disesuaikan.

V. KESIMPULAN

Penerapan teori pewarnaan graf dalam merancang strategi pertahanan *site* pasca-tanam di Valorant terbukti memberikan pendekatan yang sistematis dan objektif untuk alokasi pemain. Dalam studi kasus *site* A Haven yang dianalisis, model graf berhasil mengidentifikasi jumlah minimum pemain yang diperlukan (tiga pemain untuk tiga jalur utama) serta distribusi penjagaannya, yaitu masing-masing pemain ditempatkan pada jalur masuk yang berbeda. Hasil ini selaras dengan prinsip dasar pertahanan bahwa setiap jalur kritis sebaiknya diawasi oleh pemain berbeda demi menghindari *blind spot*. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya memetakan masalah taktis menjadi masalah kombinatorial yang dapat dipecahkan atau dianalisis dengan alat matematika. Dengan menggunakan konsep bilangan kromatik, kita dapat menilai *feasibility* pertahanan secara teoritis berdasarkan jumlah agen yang tersedia, serta mengetahui skenario terbaik (ideal) versus terburuk (paling berisiko) untuk pertahanan suatu *site*.

Meskipun demikian, pendekatan ini memiliki keterbatasan yang bersumber dari asumsi statis dan penyederhanaan model. Graf yang dibangun tidak secara penuh mencakup elemen-elemen dinamis permainan seperti pergerakan *real-time*, kemampuan agen, psikologi pemain, maupun faktor temporal. Model kombinatorial murni tidak dapat menggantikan sepenuhnya pengalaman, koordinasi, dan improvisasi pemain di lapangan. Oleh karena itu, hasil dari model pewarnaan graf sebaiknya dipandang sebagai saran formasi awal yang memberikan landasan rasional, dan selanjutnya perlu disesuaikan secara dinamis oleh tim sesuai situasi aktual pertandingan.

VI. SARAN

Sebagai saran pengembangan, berikut beberapa arah penelitian dan implementasi lanjutan dari penulis yang dapat dipertimbangkan:

- Integrasi Utilitas dan Waktu: Memperkaya model dengan dimensi temporal dan elemen utilitas. Misalnya, menggunakan *time-state graph* atau *hypergraph* untuk memodelkan skenario di mana satu

pemain dapat berpindah antar posisi seiring waktu, atau memasukkan *node/edge* khusus yang merepresentasikan efek utilitas (seperti area yang tercakup oleh Killjoy *turret* atau molly Viper).

- Uji Multi-Map dan Perspektif *Defender*: Menerapkan model graf pada berbagai map dan *site* lain untuk menguji keumumannya. Termasuk juga memodelkan skenario *retake* dari sudut pandang tim *defender* (kebalikan skenario kita) guna menganalisis strategi penyerang vs bertahan secara holistik.
- Validasi Empiris: Membandingkan efektivitas strategi berbasis graf dengan strategi empiris murni melalui simulasi atau analisis data pertandingan. Misalnya, apakah tim yang menempatkan pemain sesuai “prediksi graf” cenderung lebih berhasil menahan *post-plant* dibanding tim yang posisinya acak? Studi empiris seperti itu akan memvalidasi pendekatan secara praktis dan bisa menginformasikan apakah perlu ada adaptasi model.

LAMPIRAN

Berikut merupakan tautan video presentasi makalah yang diunggah di Youtube: https://youtu.be/UOSZ_f0IQ5c dan tautan di Google Drive: <https://drive.google.com/file/d/1H-IUrP0rfbgesrL7XOrL-sFHSYXd-gks/view?usp=sharing>

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama puji syukur serta rasa terima kasih penulis selalu ditujukan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat, rahmat, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah ini dengan lancar dan tepat waktu. Selain itu, penulis juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak terkait yang telah membantu penulis menyelesaikan makalah ini:

- Bapak Arrival Dwi Sentosa, S.Kom., M.T. selaku dosen pengampu mata kuliah IF2120 Matematika Diskrit kelas K02 atas ilmu dan bimbingannya di kelas.
- Bapak Dr. Ir. Rinaldi Munir, M.T. yang telah memberikan sumber referensi dan materi pembelajaran matematika diskrit.
- Orang tua penulis yang mendukung, menyemangati, dan mendoakan penulis.

- Teman-teman yang menjadi *support system* dan menemani penulis baik melalui *online* maupun *offline* selama pengerjaan makalah ini.

REFERENSI

- [1] K. H. Rosen, “Discrete Mathematics and Its Applications”, 8th ed. New York, NY: McGraw-Hill, 2019. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [2] T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest, and C. Stein, Introduction to Algorithms, 4th ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2022.
- [3] R. Lewis, Guide to Graph Colouring: Algorithms and Applications, 2nd ed. Cham: Springer, 2021.
- [4] E.B. Kireyna, J.D. Pratama, M.R. Pratama, S.L. Dwiyeni, A. Diyanti, B.R. Dewanto, and Sunarsih, “Valorant Haven strategy using BIP and weighted graph,” J. Math. Theory Appl., vol. 6, no. 1, pp. 75–96, Apr. 2024, doi: 10.31605/jomta.v6i1.3511.
- [5] “Welsh Powell graph colouring algorithm,” GeeksforGeeks. [Online]. Available: <https://www.geeksforgeeks.org/welsh-powell-graph-colouring-algorithm/>, diakses pada 19 Juni 2025.
- [6] Rinaldi Munir, “Graf (Bagian 1)”, <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/20-Graf-Bagian1-2024.pdf>, diakses pada 15 Juni 2025.
- [7] Rinaldi Munir, “Graf (Bagian 2)”, <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/21-Graf-Bagian2-2024.pdf>, diakses pada 15 Juni 2025.
- [8] Rinaldi Munir, “Graf (Bagian 3)”, <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/22-Graf-Bagian3-2024.pdf>, diakses pada 15 Juni 2025.
- [9] F.F. Fibriyanto, “Penentuan rute rotasi tercepat dalam map Breeze gim Valorant menggunakan algoritma Dijkstra,” unpublished. [Online]. Available: [https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2021-2022/Makalah2021/Makalah-Matdis-2021%20\(59\).pdf](https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2021-2022/Makalah2021/Makalah-Matdis-2021%20(59).pdf), diakses pada 20 Juni 2025.
- [10] KomadKO (2022). “Playing Post Plant in Valorant: Strategies and Tips.” Dignitas Guides. [Online]. Tersedia: <https://dignitas.gg/articles/playing-post-plant-in-valorant-strategies-and-tips>, diakses pada 18 Juni 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.

Sumedang, 20 Juni 2025



Fayyaz Akmal Lauda, 13524076