

# Pemodelan Graf untuk Optimasi Gerakan Kuda dalam Catur: Studi Simpul, Mobilitas, dan Saling Menjaga

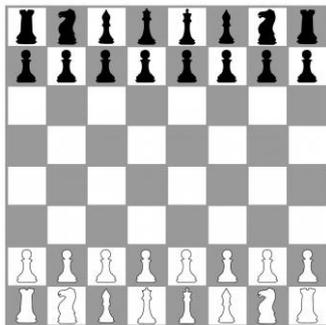
Mikhael Benrael Tampubolon - 13524009  
Program Studi Teknik Informatika  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika  
Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung  
E-mail: [mikhaelbenrael@gmail.com](mailto:mikhaelbenrael@gmail.com) , [13524009@std.stei.itb.ac.id](mailto:13524009@std.stei.itb.ac.id)

**Abstract**—Penelitian ini memodelkan papan catur sebagai graf tak berarah dengan 64 simpul, di mana tiap simpul mewakili posisi kotak dan setiap gerakan sah kuda menjadi sisi. Evaluasi dilakukan dengan tiga indikator utama: derajat simpul, kualitas simpul, dan skor kolaborasi dua kuda yang mencakup cakupan wilayah serta hubungan saling menjaga. Skor maksimal 30.0 hanya diperoleh jika kedua simpul memiliki kualitas tertinggi dan saling menjaga. Hasil menunjukkan bahwa posisi pusat papan seperti D4, E4, dan C5 memiliki keunggulan struktural dalam fleksibilitas dan jangkauan.

**Keywords**—catur; bidak kuda; teori graf; derajat simpul; kualitas simpul; analisis posisi

## I. PENDAHULUAN

Catur merupakan permainan strategi klasik yang dimainkan di seluruh dunia, dengan papan berukuran 8x8 yang terdiri dari 64 kotak berwarna hitam dan putih secara bergantian. Setiap pemain mengendalikan 16 bidak, termasuk pion, benteng, gajah, kuda, raja, dan ratu, yang masing-masing memiliki pola gerak unik.



Gambar 1. Papan Catur, diambil dari [6]

Di antara semua bidak tersebut, **kuda** adalah satu-satunya yang dapat melompati bidak lain, dengan pola gerakan khas berbentuk huruf “L”. Bidak kuda dapat melompat dua kotak ke satu arah (horizontal atau vertikal), lalu satu kotak ke arah tegak lurus, menghasilkan maksimal delapan kemungkinan gerakan dari satu posisi.

Makalah ini terfokus pada analisis matematis gerakan kuda menggunakan pendekatan **teori graf**. Tujuan dari pendekatan ini adalah menelusuri struktur mobilitas bidak kuda dari sudut

pandang graf, untuk mengevaluasi posisi-posisi terbaik yang dapat diambil oleh satu atau dua kuda sekaligus. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan derajat simpul, kualitas posisi, serta kolaborasi antar dua kuda untuk mencapai cakupan wilayah yang optimal.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Bidak Kuda

Bidak kuda adalah salah satu dari dua “bidak minor” dalam catur, bersama dengan gajah. Tidak seperti bidak lainnya, kuda melompat ke posisi sasaran tanpa terganggu oleh bidak di antaranya. Pola geraknya berupa perpindahan dua langkah ke satu arah dan satu langkah ke arah tegak lurus, menghasilkan maksimal delapan kemungkinan gerakan pada papan catur.



Gambar 2. Gerakan Kuda, diambil dari [5]

Secara formal, jika suatu simpul memiliki koordinat  $(x,y)$ , maka tetangganya—yakni posisi yang dapat dijangkau oleh kuda dalam satu langkah—adalah semua pasangan berikut:

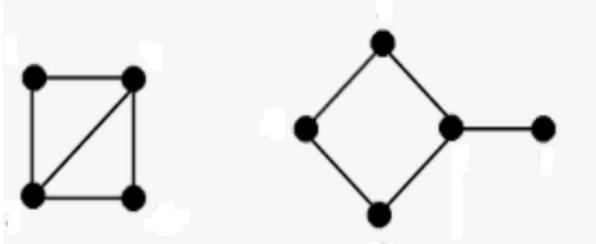
1.  $(x \pm 1, y \pm 2)$ , dan
2.  $(x \pm 2, y \pm 1)$

Jumlah langkah sah yang dapat dilakukan kuda sangat bergantung pada posisinya di papan. Misalnya, dari posisi pusat seperti D4 atau E5, kuda bisa bergerak ke delapan posisi berbeda. Sebaliknya, dari posisi pojok seperti A1 atau H8, hanya dua gerakan yang mungkin. Variasi inilah yang menjadi dasar untuk analisis menggunakan teori graf.

## B. Teori Graf

Teori graf adalah cabang ilmiah dan fundamental dari matematika diskrit yang mempelajari struktur hubungan antar objek diskrit yang direpresentasikan sebagai simpul dan sisi. Sebuah graf didefinisikan secara formal sebagai pasangan terurut  $G = (V, E)$ , dengan:

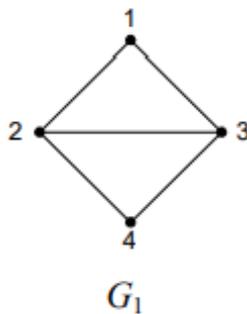
1.  $V$  adalah himpunan tak kosong dari simpul (vertices),
2.  $E \subseteq \{(u, v) \mid u, v \in V, u \neq v\}$  adalah himpunan sisi (edges) yang menghubungkan sepasang simpul.



Gambar 3. Graf Sederhana, diambil dari [1]

Dalam konteks pemodelan hubungan, simpul digunakan untuk merepresentasikan entitas diskrit, sedangkan sisi menyatakan adanya relasi langsung antar entitas tersebut. Pada makalah ini, simpul mewakili posisi kotak di papan catur, dan sisi mewakili gerakan legal kuda antar posisi.

Graf yang digunakan adalah **graf tak berarah sederhana**. Artinya, sisi yang menghubungkan dua simpul tidak memiliki arah (hubungan dua arah), serta tidak terdapat sisi ganda maupun gelang (sisi dari simpul ke dirinya sendiri). Sisi  $(u,v)$  dianggap identik dengan  $(v,u)$ , yang berarti kuda dapat bergerak dari posisi  $u$  ke  $v$ , dan sebaliknya.



Gambar 4. Graf Sederhana  $G_1$ , diambil dari [1]

Salah satu konsep paling mendasar dalam teori graf adalah **derajat simpul**. Derajat suatu simpul  $v$ , dilambangkan dengan  $d(v)$ , adalah jumlah sisi yang terhubung langsung ke simpul tersebut. Derajat mencerminkan banyaknya relasi langsung yang dimiliki simpul, atau dalam konteks makalah ini, jumlah gerakan sah yang dapat dilakukan oleh kuda dari suatu posisi.

Terkait dengan derajat adalah konsep **ketetanggaan (adjacency)**, yang menyatakan bahwa dua simpul dikatakan bertetangga apabila terdapat sisi yang langsung menghubungkannya. Himpunan simpul tetangga dari suatu simpul membentuk lingkungan lokal dari posisi tersebut, dan menjadi dasar penting dalam analisis mobilitas dan strategi gerakan kuda.

Sebagai contoh, pada Gambar 4, terdapat graf tak berarah dengan empat simpul  $\{1, 2, 3, 4\}$ , dan hubungan antar simpul sebagai berikut:

- Simpul 1 bertetangga dengan 2 dan 3, sehingga nilai  $d(1) = 2$
- Simpul 2 bertetangga dengan 1, 3, dan 4, sehingga nilai  $d(2) = 3$
- Simpul 3 bertetangga dengan 1, 2, dan 4, sehingga nilai  $d(3) = 3$
- Simpul 4 bertetangga dengan 2 dan 3, sehingga nilai  $d(4) = 2$

Selanjutnya, properti penting lainnya dalam graf adalah **keterhubungan (connectivity)**. Sebuah graf dikatakan **terhubung** jika terdapat lintasan dari setiap simpul ke setiap simpul lainnya. Dalam konteks gerakan kuda, ini berarti dari posisi mana pun di papan catur, kuda dapat mencapai posisi lain melalui satu atau beberapa langkah legal. Keterhubungan ini memastikan bahwa seluruh struktur papan catur dapat dijelajahi oleh kuda, dan analisis graf terhadapnya bersifat global.

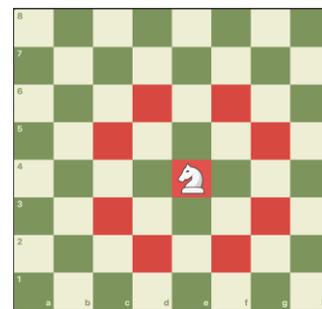
## C. Representasi Graf menggunakan Adjacency List

Untuk menerapkan teori graf dalam bentuk komputasi, diperlukan cara representasi graf yang efisien dan mudah dimanipulasi. Salah satu pendekatan paling umum dan relevan dalam konteks ini adalah **adjacency list**. Adjacency list adalah struktur data yang menyimpan daftar simpul tetangga untuk setiap simpul dalam graf.

Secara konseptual, adjacency list menyatakan bahwa jika suatu simpul  $v$  memiliki tetangga  $u_1, u_2, \dots, u_k$ , maka hubungan tersebut dicatat sebagai:

$$V \rightarrow [u_1, u_2, \dots, u_k]$$

Dalam konteks gerakan kuda pada papan catur, setiap kotak pada papan dianggap sebagai simpul, dan setiap langkah sah kuda dari satu kotak ke kotak lain menjadi sisi dalam graf. Misalnya, dari posisi D4, kuda dapat bergerak ke delapan kotak berbeda. Maka, dalam bentuk adjacency list, simpul D4 memiliki daftar tetangga sebagai berikut:



Gambar 5. Simpul dan Sisi Bidak Kuda, diambil dari [5]

$$E_4 \rightarrow [C3, C5, D2, D6, F2, F6, G3, G5]$$

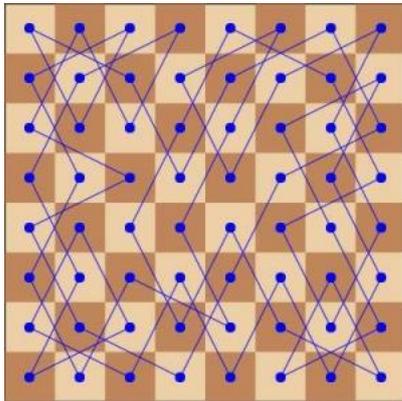
Setiap simpul memiliki daftar tetangganya sendiri yang disesuaikan dengan batas-batas papan catur. Posisi tengah seperti D4, E5, atau C5 biasanya memiliki 8 tetangga,

sementara posisi di tepi atau sudut papan seperti A1 atau H8 hanya memiliki 2.

Keunggulan representasi adjacency list adalah efisiensinya dalam menyimpan graf yang tidak padat (sparse graph), seperti graf gerakan kuda ini, karena tidak perlu menyimpan informasi untuk simpul-simpul yang tidak memiliki koneksi langsung. Selain itu, struktur ini sangat membantu dalam perhitungan seperti derajat simpul, keterhubungan, maupun saat mengevaluasi kualitas dan cakupan simpul secara cepat menggunakan algoritma.

#### D. Representasi Gerakan Kuda sebagai Graf

Gerakan kuda dalam permainan catur dapat dimodelkan sebagai sebuah graf, di mana setiap kotak pada papan catur dianggap sebagai simpul, dan setiap langkah legal kuda menjadi sisi yang menghubungkan dua simpul. Karena papan terdiri dari 64 kotak, maka graf yang terbentuk memiliki 64 simpul, dan jumlah sisi yang menghubungkan antar simpul bergantung pada aturan gerak kuda



Gambar 6. Graf gerakan kuda, diambil dari [4]

Dalam graf ini, simpul di posisi tengah papan, seperti D4 atau E5 memiliki lebih banyak kemungkinan langkah, sementara simpul di sudut seperti A1 hanya memiliki dua langkah legal. Oleh karena itu, jumlah sisi atau derajat simpul dapat digunakan sebagai ukuran awal untuk melihat seberapa “bebas” atau fleksibel suatu posisi.

Namun, derajat simpul saja tidak cukup untuk menggambarkan kualitas suatu posisi secara menyeluruh. Dalam makalah ini, penulis mengusulkan konsep **kualitas simpul**, yaitu ukuran yang tidak hanya mempertimbangkan jumlah langkah langsung dari satu simpul, tetapi juga melihat kondisi simpul-simpul tetangganya. Sebuah posisi dapat dianggap **berkualitas tinggi** apabila dikelilingi oleh simpul-simpul dengan derajat besar — artinya, dari tetangganya pun kuda tetap memiliki banyak pilihan gerak lanjutan. Sebaliknya, posisi yang tampak strategis karena berada di tengah papan bisa saja kurang efektif jika tetangganya sempit atau mudah mentok.

Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap papan catur sebagai sebuah jaringan koneksi. Dengan memanfaatkan struktur graf, kita dapat membandingkan berbagai posisi secara objektif, baik untuk

satu kuda maupun dalam kombinasi dua kuda. Representasi ini juga membuka jalan untuk mengevaluasi **cakupan wilayah, hubungan saling menjaga, dan kestabilan posisional**, yang akan dibahas lebih lanjut dalam bagian berikutnya.

### III. METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dibagi ke dalam tiga tahap utama: (A) menghitung derajat setiap simpul, (B) mendefinisikan ukuran kualitas simpul, serta (C) mengevaluasi kombinasi dua simpul terbaik untuk kolaborasi dua kuda.

#### A. Menghitung Derajat Simpul

Gerakan kuda berbentuk “L”, yaitu dua langkah ke satu arah dan satu langkah ke arah tegak lurus, menghasilkan maksimal delapan kemungkinan pergerakan. Namun, hanya langkah yang masih berada dalam batas papan ( $1 \leq x, y \leq 8$ ) yang dianggap valid. Jumlah langkah sah dari suatu simpul disebut sebagai **derajat simpul**.

Untuk memudahkan perhitungan, digunakan program Python dengan struktur graf. Berikut cuplikan kodenya:

```
N = 8
langkah_kuda = [(-2, -1), (-1, -2), (1, -2), (2, -1),
                (2, 1), (1, 2), (-1, 2), (-2, 1)]

graf = {}
def koordinat_ke_notasi(x, y):
    kolom = chr(ord('A') + x - 1)
    baris = str(y)
    return kolom + baris

for x in range(1, N + 1):
    for y in range(1, N + 1):
        posisi = (x, y)
        graf[posisi] = []
        for dx, dy in langkah_kuda:
            nx, ny = x + dx, y + dy
            if 1 <= nx <= N and 1 <= ny <= N:
                graf[posisi].append((nx, ny))

tabel_derajat = []
for (x, y), tetangga in graf.items():
    notasi = koordinat_ke_notasi(x, y)
    derajat = len(tetangga)
    tabel_derajat.append((notasi, derajat))

tabel_derajat.sort(key=lambda x: (8 - int(x[0][1]), x[0][0]))
for posisi, derajat in tabel_derajat:
    print(f"{posisi}: {derajat}")
```

Gambar 7. Kode Python menentukan nilai derajat simpul

Hasil yang diperoleh ditunjukkan sebagai berikut, dengan posisi papan dinyatakan sebagai p dan derajatnya sebagai d(p).

Tabel I. Hasil kode python nilai derajat simpul pada Gambar 7.

p	d(p)	p	d(p)	p	d(p)	p	d(p)
A1	2	C1	4	E1	4	G1	3
A2	3	C2	6	E2	6	G2	4
A3	4	C3	8	E3	8	G3	6
A4	4	C4	8	E4	8	G4	6
A5	4	C5	8	E5	8	G5	6
A6	4	C6	8	E6	8	G6	6
A7	3	C7	6	E7	6	G7	4
A8	2	C8	4	E8	4	G8	3
B1	3	D1	4	F1	4	H1	2
B2	4	D2	6	F2	6	H2	3
B3	6	D3	8	F3	8	H3	4
B4	6	D4	8	F4	8	H4	4
B5	6	D5	8	F5	8	H5	4
B6	6	D6	8	F6	8	H6	4
B7	4	D7	6	F7	6	H7	3
B8	3	D8	4	F8	4	H8	2

Tabel tersebut menunjukkan pola derajat yang simetris di seluruh papan. Simpul-simpul di pusat seperti D4 atau E5 memiliki derajat maksimum 8, sedangkan simpul sudut seperti A1 dan H8 hanya memiliki 2 langkah sah. Nilai-nilai derajat ini akan menjadi dasar perhitungan kualitas simpul pada tahap selanjutnya.

### B. Menentukan Kualitas Simpul

Dalam konteks gerakan kuda, posisi yang baik tidak hanya memiliki banyak pilihan langsung, tetapi juga mengarah ke wilayah yang sama-sama terbuka. Oleh karena itu, perlu dikembangkan ukuran tambahan yang mempertimbangkan kondisi lingkungan sekitar simpul.

Salah satu pendekatan awal yang dapat digunakan untuk menilai kualitas suatu simpul  $v$  adalah dengan mempertimbangkan **jumlah total derajat** dari simpul-simpul tetangganya. Jika  $N(v)$  menyatakan himpunan simpul tetangga langsung dari  $v$ , maka rumus awal untuk menilai kualitas simpul dapat dituliskan sebagai:

$$Q(v) = d(v) + \sum_{u \in N(v)} d(u) \quad (1)$$

di mana:

- $Q(v)$  adalah kualitas simpul  $v$ ,
- $d(v)$  adalah derajat simpul  $v$ ,
- $d(u)$  adalah derajat simpul tetangga  $u$ ,
- $N(v)$  adalah himpunan semua simpul yang bertetangga langsung dengan  $v$ .

Namun, bentuk ini terlalu berat pada simpul dengan jumlah tetangga yang besar. Simpul dengan derajat rendah tapi dikelilingi simpul-simpul kuat akan tetap diberi nilai rendah hanya karena tetangganya sedikit.

Untuk mengatasi masalah ini, penulis menyempurnakan pendekatan tersebut dengan mengganti jumlah total menjadi **rata-rata derajat tetangga**, sehingga nilai lebih seimbang. Hasilnya adalah rumus akhir berikut:

$$Q(v) = d(v) + \frac{1}{d(v)} \sum_{u \in N(v)} d(u) \quad (2)$$

Dengan cara ini, simpul yang dikelilingi simpul-simpul kuat tetap diberi penilaian tinggi, walaupun jumlah tetangganya tidak maksimal. Rumus (2) diimplementasikan dalam Python menggunakan struktur graf berbasis adjacency list. Berikut cuplikan kode yang digunakan:

```

kualitas_simpul = {}
for v in graf:
    dv = len(graf[v])
    if dv == 0:
        kualitas_simpul[v] = 0
    else:
        total_deg_tetangga = sum(len(graf[u]) for u in graf[v])
        rata_rata = total_deg_tetangga / dv
        kualitas_simpul[v] = dv + rata_rata
    
```

Gambar 8. Kode Python menentukan nilai kualitas simpul

Setiap simpul  $v$  dihitung derajatnya dan rata-rata derajat simpul tetangganya. Berikut adalah hasilnya

Tabel II. Hasil kode python nilai kualitas simpul pada Gambar 8.

Posisi	Q(v)
D4	15.0
D5	15.0
E4	15.0
E5	15.0
C4	14.0
C5	14.0
D3	14.0
D6	14.0
E3	14.0
E6	14.0

Posisi-posisi tersebut semuanya berada di bagian tengah papan, yang secara struktural memiliki derajat maksimum dan dikelilingi oleh simpul-simpul dengan fleksibilitas tinggi pula. Hasil ini memperkuat argumen bahwa pusat papan merupakan wilayah dengan nilai strategis tertinggi bagi kuda.

### C. Evaluasi Kombinasi Dua Simpul

Tahap terakhir dari metode penelitian ini bertujuan mengevaluasi potensi kolaborasi antara dua simpul, yang dalam konteks permainan catur dimaknai sebagai dua posisi kuda pada papan 8x8. Fokus utamanya adalah menilai efektivitas dua

posisi jika digunakan bersama dalam permainan aktual atau simulasi algoritmik. Tiga aspek utama yang dilihat adalah:

1. **Skor total**, dihitung berdasarkan kualitas simpul ( $Q$ ) dari tahap sebelumnya.
2. **Cakupan wilayah gabungan**, yaitu banyaknya kotak papan yang dapat dijangkau oleh minimal salah satu dari dua kuda.
3. **Saling menjaga**, yaitu apakah dua posisi memungkinkan kuda saling melindungi satu sama lain.

Untuk menilai kombinasi dua simpul ( $v_1, v_2$ ), digunakan metrik total skor kolaborasi  $S(v_1, v_2)$  yang dirumuskan sebagai:

$$S(v_1, v_2) = Q(v_1) + Q(v_2) + \alpha \cdot I(v_1, v_2) \quad (3)$$

dengan:

- $Q(v)$ : kualitas simpul  $v$ , diperoleh dari tahap B
- $I(v_1, v_2)$ : indikator saling menjaga (bernilai 1 jika  $v_1$  dan  $v_2$  bertetangga langsung dalam graf gerakan kuda, 0 jika tidak),
- $\alpha$ : bobot penguat untuk relasi saling menjaga, pada implementasi ini ditetapkan  $\alpha=1.0$ .

Rumus (3) bersifat heuristik, disusun berdasarkan logika strategis permainan catur. Komponen penjumlahan  $Q(v_1) + Q(v_2)$  mencerminkan fleksibilitas individu masing-masing posisi, sementara tambahan  $\alpha \cdot I(v_1, v_2)$  memperkuat posisi yang lebih stabil karena saling melindungi. Implementasi dilakukan menggunakan struktur graf berbasis adjacency list dalam Python, dengan cuplikan kode berikut:

```
saling_menjaga = 1 if (v1 in graf[v2] and v2 in graf[v1]) else 0
skor_akhir = q1 + q2 + alpha * saling_menjaga
```

Gambar 9. Kode Python menentukan skor kolaborasi

Hasil evaluasi ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel III. Hasil kode python nilai skor kolaborasi pada Gambar 9.

Posisi 1	Posisi 2	Skor	Cakupan	Saling Menjaga
C4	E5	30.0	16	Ya
C5	E4	30.0	16	Ya
D3	E5	30.0	16	Ya
D4	D5	30.0	16	Tidak
D4	E4	30.0	16	Tidak

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Hasil

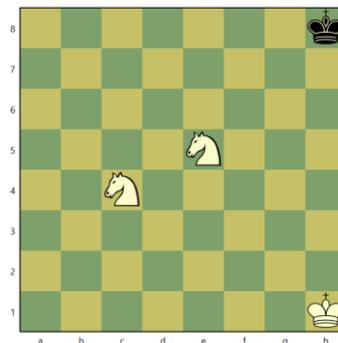
Penelitian ini mengevaluasi sebanyak **2.016 kombinasi pasangan posisi kuda** pada papan catur berukuran  $8 \times 8$ . Setiap posisi kotak direpresentasikan sebagai simpul dalam graf tak berarah, dengan langkah legal kuda menjadi sisi yang menghubungkan antar simpul. Representasi ini dibangun menggunakan struktur *adjacency list* untuk efisiensi komputasi.

Skor kolaborasi untuk setiap pasangan dihitung menggunakan **Rumus (3)**, di mana kualitas simpul  $Q(v)$  diperoleh dari **Rumus (2)**, dan indikator saling menjaga  $I(v_1, v_2)$  bernilai 1 apabila kedua simpul bertetangga langsung dalam graf. Nilai  $\alpha$  ditetapkan sebesar 1.0 dalam implementasi.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa **skor kolaborasi maksimum yang mungkin dicapai adalah 30.0 poin**. Nilai ini hanya diperoleh jika:

- Kedua posisi memiliki kualitas simpul tertinggi ( $Q(v) = 15.0$ ), dan
- Kedua simpul tersebut saling menjaga ( $I = 1$ ), sehingga memberikan kontribusi tambahan skor sebesar +1.

Selain skor, **cakupan wilayah gabungan** turut dianalisis sebagai indikator strategis. Cakupan didefinisikan sebagai jumlah posisi unik yang dapat dijangkau oleh minimal salah satu dari dua kuda dalam satu kombinasi. Hasil terbaik menunjukkan **cakupan maksimum sebesar 16 posisi**, yang merupakan batas teoritis tertinggi tanpa tumpang tindih signifikan.



Gambar 10. Contoh posisi dua bidak kuda terbaik berdasarkan skor kolaborasi C4-E5

Dari ribuan kombinasi yang dianalisis, lima pasangan posisi terbaik yang memperoleh skor tertinggi dapat dilihat pada tabel III.

Kelima kombinasi ini semuanya melibatkan simpul yang berada di **wilayah tengah papan**, yaitu daerah yang sebelumnya telah terbukti secara empiris memiliki **derajat maksimum (8)** dan dikelilingi simpul-simpul dengan fleksibilitas tinggi. Fakta bahwa pasangan-pasangan ini tidak mengalami redundansi langkah memperkuat posisi mereka sebagai **formasi strategis paling optimal** berdasarkan metrik yang ditetapkan.

##### B. Pembahasan

Dari hasil evaluasi 2.016 kombinasi posisi kuda, ditemukan lima kombinasi dengan skor kolaborasi maksimum sebesar 30.0. Evaluasi dilakukan menggunakan rumus (3), yang mempertimbangkan kualitas simpul dan indikator saling menjaga antar posisi.

Pertama, dari aspek kualitas simpul. Nilai kualitas tertinggi  $Q(v) = 15.0$  hanya ditemukan pada simpul-simpul pusat seperti D4, D5, E4, dan E5. Simpul ini memiliki derajat 8 dan rata-rata derajat tetangga yang juga tinggi. Ini menunjukkan bahwa simpul pusat lebih unggul karena memiliki banyak koneksi langsung maupun tidak langsung ke posisi fleksibel lainnya.

Selanjutnya, dari aspek skor kolaborasi. Skor 30.0 hanya muncul jika kedua kuda berada pada posisi dengan  $Q = 15.0$  dan saling menjaga. Hal ini memperlihatkan bahwa skor maksimal dapat dicapai bukan hanya dari kekuatan individu simpul, tetapi juga dari interaksi antar dua simpul. Faktor  $I(v_1, v_2)$  pada rumus (3) berperan dalam memberikan keuntungan strategis tambahan.

Dari aspek cakupan wilayah. Kombinasi seperti C4–E5 dan C5–E4 mampu menjangkau 16 posisi unik tanpa tumpang tindih signifikan. Ini membuktikan bahwa pasangan posisi optimal tidak hanya fleksibel secara individu, tapi juga saling melengkapi dalam penguasaan papan.

Terakhir, dari aspek hubungan ketetanggaan. Tiga dari lima pasangan terbaik (C4–E5, C5–E4, D3–E5) memiliki relasi langsung dalam graf, memungkinkan kedua kuda saling melindungi. Ini meningkatkan stabilitas formasi dan mencerminkan efektivitas posisi dalam konteks pertahanan. Dengan demikian, analisis ini menegaskan bahwa simpul pusat papan lebih strategis dalam kolaborasi dua kuda. Cakupan luas dan keterhubungan langsung adalah kunci membentuk formasi kuda yang optimal dalam permainan nyata.

## V. KESIMPULAN

Penelitian yang menganalisis mobilitas bidak kuda dalam permainan catur, dengan memodelkan setiap posisi kotak sebagai simpul dan langkah legal kuda sebagai sisi dalam graf tak berarah sederhana berbasis adjacency list. Evaluasi dilakukan melalui tiga tahap utama: perhitungan derajat simpul, penentuan kualitas simpul menggunakan rata-rata derajat tetangga, serta penilaian kombinasi dua simpul berdasarkan skor kolaboratif yang mencakup kualitas individu, cakupan wilayah, dan indikator saling menjaga.

Hasil analisis terhadap 2.016 kombinasi pasangan kuda menunjukkan bahwa skor maksimum 30.0 hanya dicapai jika kedua kuda menempati posisi dengan kualitas tertinggi dan saling menjaga. Cakupan optimal sebesar 16 posisi unik ditemukan pada pasangan-pasangan yang menempati simpul pusat seperti D4, E4, dan C5. Hal ini menunjukkan bahwa pusat papan memberikan fleksibilitas gerakan yang tinggi dan potensi kontrol wilayah yang luas. Pendekatan ini membuktikan bahwa teori graf mampu memberikan kerangka evaluasi posisi yang objektif dan strategis, serta berpotensi diterapkan dalam pengembangan algoritma permainan catur dan sistem pembelajaran posisi berbasis graf.

## VI. SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas ruang analisis ke lebih dari dua kuda agar dapat mengevaluasi formasi strategis yang lebih kompleks. Selain itu, pendekatan graf ini dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan faktor-faktor lain seperti posisi bidak lawan, potensi ancaman, atau fase permainan (awal, tengah, akhir) untuk menghasilkan model strategi dua bidak kuda yang lebih dinamis.

## VII. UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama, saya mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dengan rahmat dan penyertaannya, makalah berjudul "*Pemodelan Graf untuk Optimasi Gerakan Kuda dalam Catur: Studi Simpul, Mobilitas, dan Saling Menjaga*" dapat diselesaikan dengan baik tanpa hambatan berarti. Terima kasih kepada Bapak Dr. Rinaldi Munir selaku dosen pengampu mata kuliah IF1220 Matematika Diskrit, yang telah memberikan bimbingan, inspirasi, dan arahan selama perkuliahan berlangsung.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Munir, "Graf-Bagian1-2024," *Mata Kuliah IF1220 Matematika Diskrit*, 2024. Tersedia: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/20-Graf-Bagian1-2024.pdfdsd>, diakses 18 Juni 2025 pukul 20.30 .
- [2] T. H. Cormen, C. E. Leiserson, R. L. Rivest, dan C. Stein, *Introduction to Algorithms*, 3rd ed. Cambridge, MA: MIT Press, 2009.
- [3] Chess.com, "Kuda Catur: Pergerakan, Strategi, dan Tips," *Chess.com*, 2024. [Daring]. Tersedia: <https://www.chess.com/id/terms/kuda-catur> diakses 19 Juni 2025 pukul 10.30 .
- [4] S. Hartono, "Catur: Perjalanan Kesatria Berkuda," *Kompasiana*, 2017. [Daring]. Tersedia: <https://www.kompasiana.com/sabdahartono/59f54f16a208c0352a314973/catur-perjalanan-kesatria-berkuda> diakses 19 Juni 2025 pukul 20.30 .
- [5] Chess.com, "Gambar dan Materi Visual Catur," *Chess.com*, 2024. [Daring]. Tersedia: <https://www.chess.com/> diakses 20 Juni 2025 pukul 08.30 .
- [6] Pixabay, "Catur, Papan Catur, Bagian-bagian," *Pixabay*, 2017. [Daring]. Tersedia: <https://pixabay.com/id/illustrations/catur-papan-catur-bagian-bagian-316898/>, diakses 20 Juni 2025 pukul 09.00 .

## 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.

Jatinangor, 20 Juni 2025



Mikhael Benrael Tampubolon 13524009

