

Aplikasi Graf dalam Prediksi Permainan Catur

*Fadhil Muhammad Rafi' 13518079
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
13518079@std.stei.itb.ac.id@itb.ac.id*

Abstrak—Catur merupakan salah satu permainan yang cukup digemari di akhir abad ini. Catur merupakan suatu permainan yang terdiri atas dua pemain yang saling berhadapan. Permainan ini mengandalkan strategi serta taktik yang dibangun oleh para pemainnya. Permainan catur terdiri atas satu papan yang terdiri atas 16 bidak untuk tiap pemainnya. Jenis bidak terdiri dari satu buah raja, satu buah menteri, sepasang gajah, sepasang kuda, sepasang benteng, serta delapan buah pion. Setiap bidak memiliki peran yang berbeda serta memiliki pola pergerakan yang berbeda pula. Dalam suatu permainan catur, bidak-bidak ini memiliki keterkaitan satu sama lainnya sehingga setiap *state* pada permainan catur dapat direpresentasikan sebagai graf. Setiap *state* atau setiap langkah dalam permainan catur dapat dievaluasi dengan adanya graf ini. Pada makalah ini, penulis melakukan analisis terhadap graf yang menunjukkan keterkaitan antarbidak dalam suatu *state* dalam permainan catur

Keywords—Catur, Graf, *State*, Keterkaitan bidak

I. PENDAHULUAN

Catur merupakan salah satu permainan papan yang paling diminati pada akhir abad ke-20 hingga awal abad ke-21 ini. Permainan catur pertama kali muncul di India pada abad ke-6 dan menyebar ke Timur Tengah dan Eropa pada abad ke-10. Selanjutnya, catur menjadi permainan mewah pada akhir abad ke-15, hal ini disebabkan catur banyak dimainkan oleh masyarakat kalangan atas. Pada perkembangannya, aturan dan standar dari permainan catur terus berubah menyesuaikan dengan kebutuhan. Permainan catur dimainkan oleh dua orang yang saling berhadapan dengan warna bidak yang kontras antarpemain (biasanya hitam dan putih). Pemain dengan bidak berwarna terang (putih) memiliki giliran terlebih dahulu. Kemudian, giliran selanjutnya adalah pemain dengan bidak berwarna gelap (hitam), dan kembali ke giliran putih dan begitu seterusnya. Tiap pemain pada permainan catur harus menggunakan langkahnya dalam tiap giliran yang dimilikinya. Tiap pemain dalam permainan catur memiliki satu set bidak yang terdiri dari satu buah raja, satu buah menteri, sepasang gajah, sepasang kuda, sepasang benteng, dan delapan buah pion. Pada permainan ini tiap bidak dapat memakan bidak lainnya jika berada pada kawasan pergerakan bidak terkait. Tiap jenis dari bidak-bidak ini memiliki pola pergerakan yang berbeda-beda: raja dapat bergerak ke manapun (horizontal, vertikal, dan diagonal), namun hanya satu langkah; menteri dapat bergerak ke

manapun dan tidak dibatasi langkahnya; gajah dapat bergerak secara diagonal, kuda bergerak dengan pola gerakan 'L'; benteng dapat bergerak horizontal dan vertikal; dan pion hanya dapat bergerak satu langkah ke depan (jika di posisi awal dapat bergerak dua langkah), dan memakan bidak lain dengan pergerakan diagonal satu langkah ke depan; serta terdapat langkah spesial yang dapat dilakukan oleh raja dan benteng yaitu 'rokade' dimana raja berpindah tempat dua langkah ke kiri atau kanannya dan benteng berpindah tempat ke sebelah kanan raja jika raja berpindah ke kiri, dan sebaliknya. Tiap bidak yang memiliki posisi beragam dalam suatu *state* dalam permainan catur memiliki keterkaitan satu sama lainnya dan membentuk sebuah graf. Oleh karena itu, dalam permainan catur ini dapat digambarkan dengan graf untuk tiap *statenya*.

Teori Graf merupakan salah satu cabang dari Matematika Diskrit yang mempelajari tentang sifat sifat dari graf itu sendiri. Teori Graf ditemukan oleh Leonhard Euler, seorang matematikawan dari Swiss. Pada awalnya, cabang ilmu ini tidak meraih perhatian besar dari para matematikawan, namun setelah muncul permasalahan tentang jumlah warna minimal untuk mewarnai peta, teori graf menarik perhatian banyak matematikawan karena permasalahan tersebut dapat dipecahkan dengan struktur dari graf ini. Graf terdiri atas simpul-simpul yang dihubungkan oleh garis-garis atau biasa disebut dengan busur. Graf sendiri berfungsi untuk merepresentasikan objek-objek diskrit dan hubungan antara objek-objek tersebut. Graf dapat merepresentasikan banyak struktur, seperti jaringan pertemanan pada media sosial, kota-kota dan jalan-jalan yang menghubungkannya, jaringan antarkomputer, serta graf yang menunjukkan setiap *state* yang terdapat pada permainan catur. Tiap sisi pada suatu graf juga dapat memiliki sebuah bobot, yang menggambarkan hal yang bermacam-macam, seperti jumlah, panjang, atau lainnya. Teori graf sangatlah berguna untuk kehidupan sekarang ini karena dapat menyelesaikan berbagai macam masalah.

II. TEORI DASAR

A. Teori Catur

Permainan Catur bertujuan melakukan 'skakmat' kepada pemain musuh. 'Skakmat' merupakan suatu *state* dimana raja dari suatu pemain terancam untuk dimakan dan tidak dapat melakukan langkah lain lagi. Dalam catur, juga terdapat istilah

'skak' dimana raja dari pemain terancam untuk dimakan namun raja tersebut masih dapat melakukan langkah untuk menghindari ancaman tersebut. Ketika dalam *state* 'skak', pemain tidak dapat melakukan langkah yang bukan untuk mencegah ancaman musuh tersebut kepada raja

B. Notasi Catur

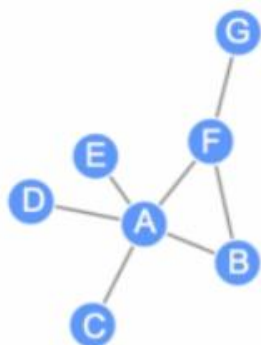
Dalam permainan catur tiap langkah dicatat dengan suatu notasi dimana digit pertama menyatakan bidak yang melakukan langkah. Raja memiliki simbol 'K', Menteri memiliki simbol 'Q', Gajah memiliki simbol 'B', Kuda memiliki simbol 'N', Benteng memiliki simbol 'R', dan pion tidak memiliki simbol. Dua digit terakhir menyatakan petak yang menjadi tujuan langkah bidak tersebut dalam *lower case*. Contoh: *Kf8, Qd6, Nf3*. Selain itu, jika sebuah bidak memakan bidak musuh, maka notasi setelah digit pertama adalah huruf 'x', contoh: *Bxd5, exf6* (untuk pion merupakan pengecualian ketika ia memakan bidak lawan, digit pertama merupakan kolom dimana ia berada).

C. Teori Graf

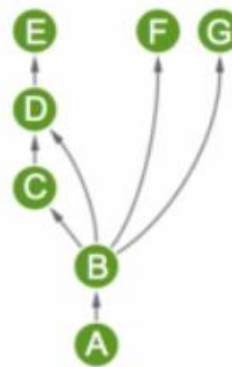
Graf didefinisikan sebagai sebuah himpunan simpul-simpul dan busur-busur yang saling terhubung bersama. Graf G dilambangkan dengan $G = (V, E)$ dimana V merupakan himpunan tidak kosong yang berisikan simpul-simpul yang terdapat pada graf G . Himpunan V dilambangkan dengan $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$. Sedangkan E merupakan himpunan dari busur-busur pada graf G yang dilambangkan dengan $E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}$.

D. Jenis-Jenis Graf

Pada perkembangannya, Graf memiliki banyak jenis, antara lain: Graf sederhana, merupakan graf yang hanya memiliki maksimal satu busur yang menghubungkan antarsimpul dan tidak memiliki arah pada busurnya; Graf berarah, merupakan graf yang memiliki arah (dari simpul keluar ke simpul masuk); Graf ganda, merupakan graf yang memiliki busur lebih dari satu yang menghubungkan dua simpul; Graf ganda-berarah, merupakan graf yang memiliki lebih dari satu busur berarah searah yang menghubungkan dua simpul; dan Graf berbobot, merupakan graf yang memiliki bobot atau nilai pada tiap busurnya.



Gambar 2.1 Graf Sederhana. Sumber : <https://www.ebi.ac.uk/training/online/course/network-analysis-protein-interaction-data-introduction/introduction-graph-theory/graph-theory>



Gambar 2.2 Graf Berarah. Sumber : <https://www.ebi.ac.uk/training/online/course/network-analysis-protein-interaction-data-introduction/introduction-graph-theory/graph-theory>



[theory/graph-theory](https://www.ebi.ac.uk/training/online/course/network-analysis-protein-interaction-data-introduction/introduction-graph-theory/graph-theory)

Gambar 2.3 Graf Berbobot. Graf berbobot memiliki bobot atau nilai pada setiap busurnya. Sumber : <https://www.ebi.ac.uk/training/online/course/network-analysis-protein-interaction-data-introduction/introduction-graph-theory/graph-theory>

E. Derajat Graf

Derajat suatu simpul adalah jumlah busur yang bersisian dengan dengan simpul tersebut. Derajat dari suatu simpul dapat di notasikan dengan $d(v)$ dimana v adalah simpul terkait. Simpul A pada Graf di Gambar 2.1 memiliki derajat lima atau $d(A) = 5$. Hal ini dapat dilihat dari jumlah busur yang bersisian dengan simpul A, yaitu simpul yang menghubungkan (A,B), (A,C), (A,D), (A,E), (A,F).

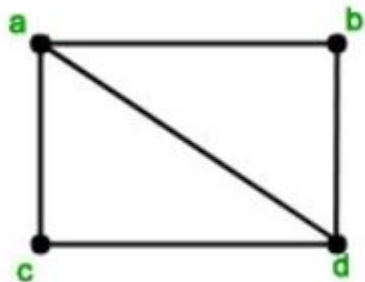
Jumlah derajat dari suatu graf dapat dihitung dengan menggunakan *Lemma Jabat Tangan*, dimana jumlah derajat suatu graf merupakan dua kali jumlah busur yang terdapat pada suatu graf. Graf pada Gambar 2.1 memiliki derajat sebesar empat belas.

F. Lintasan dan Sirkuit

Lintasan yang panjangnya n dari simpul awal v_0 ke simpul tujuan v_n di dalam graf G ialah barisan selang-seling (simpul –

sisi – simpul) dari simpul-simpul dan sisi-sisi yang berbentuk $v_0, e_1, v_1, e_2, v_2, \dots, v_{n-1}, e_n, v_n$ sedemikian sehingga $e_1 = (v_0, v_1), e_2 = (v_1, v_2), \dots, e_n = (v_{n-1}, v_n)$ adalah sisi-sisi dari graf G . Lintasan a-b-c-d pada *Gambar 2.4* memiliki panjang sebesar tiga satuan.

Sirkuit merupakan lintasan yang kembali ke simpul semula. Sirkuit bisa juga dibidang sebagai lintasan tertutup karena tiap simpul pada lintasan terhubung dengan simpul lainnya. Panjang sirkuit dapat dicari dengan cara yang sama dengan panjang lintasan, yaitu dengan menghitung sisi yang menghubungkan simpul pada sirkuit. Sirkuit a-b-c-d pada *Gambar 2.4* memiliki panjang sebesar dua satuan.



Gambar 2.4 Lintasan dan Sirkuit. Sumber : <https://www.geeksforgeeks.org/mathematics-euler-hamiltonian-paths/>

G. Lintasan dan Sirkuit Hamilton

Lintasan Hamilton merupakan lintasan pada graf yang melalui tiap simpul pada graf tepat satu kali. Sedangkan sirkuit Hamilton adalah sirkuit yang melalui tiap simpul pada graf tepat sekali. Graf yang hanya memiliki lintasan Hamilton disebut dengan graf semi-Hamilton sedangkan graf yang memiliki lintasan dan sirkuit Hamilton disebut dengan graf-Hamilton. Pada *Gambar 2.4*, a-b-d-c merupakan lintasan Hamilton, sedangkan a-b-c-d merupakan sirkuit Hamilton. Oleh karena itu, graf pada *Gambar 2.4* merupakan graf Hamilton.

H. Lintasan dan Sirkuit Euler

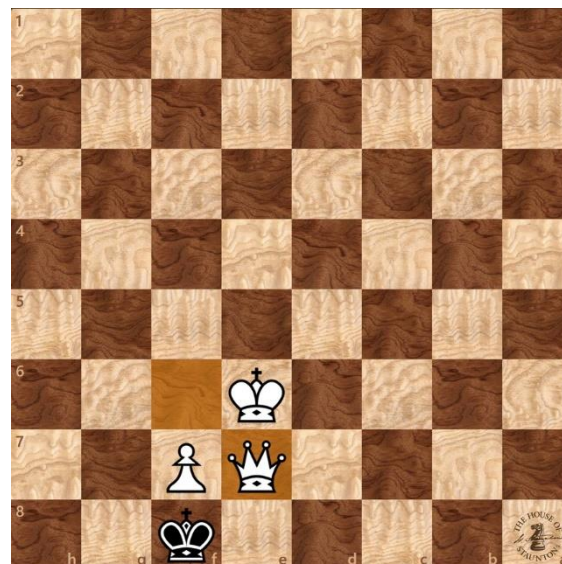
Lintasan Euler merupakan lintasan pada graf yang melalui tiap busur pada graf tepat satu kali. Sedangkan sirkuit Euler adalah sirkuit yang melalui tiap busur pada graf tepat sekali. Graf yang hanya memiliki lintasan Euler disebut dengan graf semi-Euler sedangkan graf yang memiliki lintasan dan sirkuit Euler disebut dengan graf-Euler. Pada *Gambar 2.4*, a-b-d-c-d merupakan lintasan Euler, namun tidak memiliki sirkuit Euler. Oleh karena itu, graf pada *Gambar 2.4* merupakan graf semi-Euler.

III. PEMBAHASAN

A. Pemodelan Graf dari State Permainan Catur

Posisi tiap bidak pada papan catur dapat dilihat sebagai keterkaitan antar bidak satu dan bidak lainnya serta dengan petak yang mereka kuasai, serang, ataupun mereka lindungi. Untuk selanjutnya, kita akan menjadikan bidak dan petak sebagai simpul dan gerakan atau gerakan yang mungkin dilakukan sebagai busur.

Perhatikan *Gambar 3.1* Berdasarkan kesepakatan



Gambar 3.1 Pemodelan Catur sebagai Graf. Sumber: <https://www.chess.com/play/computer>

sebelumnya kita dapat melihat *state* permainan catur di atas sebagai sebuah graf dimana raja putih, menteri putih, pion putih, dan raja hitam sebagai simpul, serta busur yang menghubungkan raja hitam dengan menteri putih, yang selanjutnya akan kita sebut dengan busur menyerang dan busur yang menghubungkan raja dengan menteri putih dan sebaliknya, serta busur yang menghubungkan raja dengan pion putih serta menteri dengan pion putih, yang selanjutnya akan kita sebut sebagai busur bertahan. Jika tiap petak juga kita anggap sebagai simpul, maka busur yang bersisian dengan raja dan menteri putih akan menjadi sangat banyak sedangkan busur yang bersisian dengan raja hitam hanyalah satu, yaitu g_8 , sedangkan pion putih tidak punya busur yang bersisian dengannya yang menghubungkannya dengan suatu petak. Selanjutnya busur yang menghubungkan bidak dengan petak ini akan kita sebut dengan busur pergerakan.

Berdasarkan kesepakatan di atas, kita dapat membuat tiga jenis graf berbeda, yaitu graf yang menyatakan keterkaitan antarbidak(menyerang atau bertahan), graf yang menyatakan keterkaitan antarbidak yang dapat meraih petak yang sama, serta keterkaitan bidak dengan petak yang dapat diraih dengan bidak tersebut, yang selanjutnya secara berturut turut akan kita sebut dengan graf penunjang, graf pergerakan, dan graf posisi

B. Jenis Graf pada Permainan Catur

Berdasarkan pembahasan pada subbab sebelumnya, kita dapat mengklasifikasi jenis-jenis graf yang terdapat pada sebuah *state* dari permainan catur.

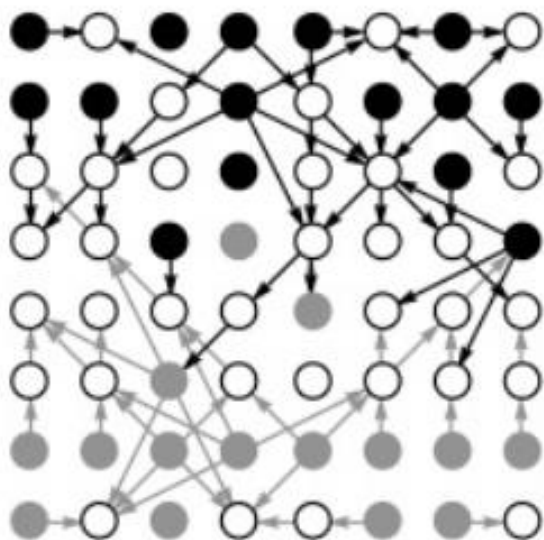
Graf yang pertama adalah graf penunjang, dimana setiap bidak bertindak sebagai simpul yang berwarna sesuai dengan warna bidak. Ketika sebuah bidak dapat memakan bidak yang berbeda warna, maka hubungan ini dapat kita nyatakan sebagai busur menyerang. Ketika sebuah bidak memberikan *support* kepada bidak dengan warna yang sama, maka hubungan ini dapat kita nyatakan sebagai busur bertahan. Setiap busur memiliki arah berasal dari bidak yang melakukan aksi dan memiliki warna yang bersesuaian dengan warna bidak yang

melakukan aksi. Selain itu, tiap busur juga diberikan keterangan apakah busur tersebut termasuk busur menyerang atau busur bertahan.

Graf yang kedua adalah graf posisi yang merepresentasikan hubungan antara bidak dan petak yang dapat diraihinya. Pada graf posisi, setiap simpul mewakili petak yang terdapat pada papan catur. Petak yang dikuasai oleh bidak direpresentasikan oleh simpul dengan warna yang bersesuaian dengan warna bidak yang menguasai petak tersebut. Sedangkan, petak yang tidak dikuasai oleh bidak manapun tidak memiliki warna. Graf posisi adalah sebuah satu-kesatuan dengan graf penunjang ketika warna simpul-simpul yang bersangkutan dari graf penunjang sama dengan pada graf pergerakan. *Gambar 3.3* merupakan graf posisi dari *state* permainan catur pada *Gambar 3.2*.



Gambar 3.2 State pada sebuah permainan catur. Sumber: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352711018301687>

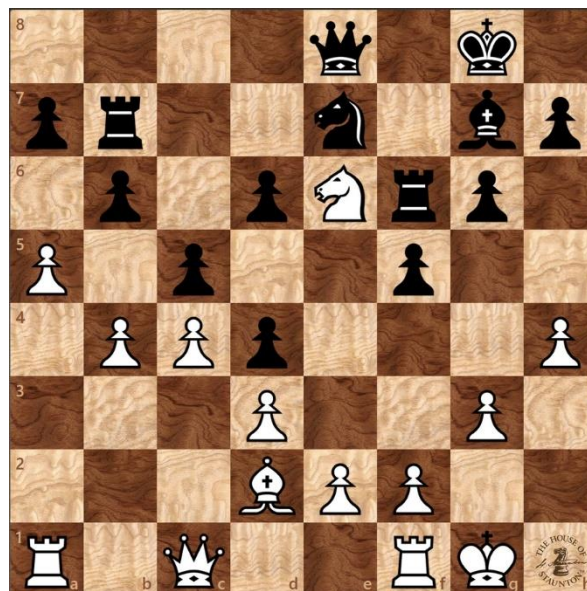


Gambar 3.3 Graf Posisi State pada Gambar 3.2. Sumber: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352711018301687>

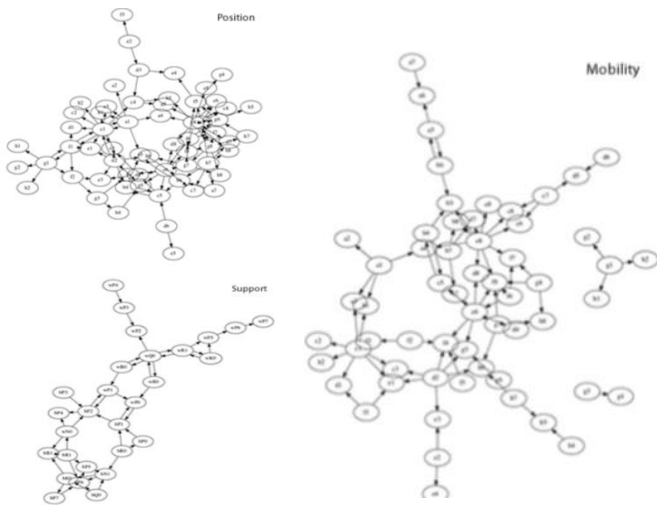
Jenis Graf yang terakhir adalah graf pergerakan, yang merepresentasikan pergerakan sebuah bidak. Simpul-simpul pada graf ini mewakili petak-petak yang sudah dikuasai oleh sebuah bidak atau dapat diraih oleh sebuah bidak. Setiap petak yang dikuasai oleh bidak direpresentasikan oleh simpul dengan warna yang bersesuaian dengan warna bidak yang menguasainya, sedangkan bidak yang belum dikuasai tidak memiliki warna. Setiap busur diarahkan dari simpul berwarna menuju simpul yang mewakili petak kosong yang dapat diraih atau petak yang dikuasai oleh bidak lawan yang dapat dimakan oleh bidak yang direpresentasikan oleh simpul berwarna tersebut. Pada graf ini, tidak ada busur yang menghubungkan simpul dengan warna yang sama. Seluruh petak yang tidak dikuasai dan tidak dapat diraih oleh bidak memiliki derajat nol atau dengan kata lain tidak terhubung dengan simpul manapun pada graf.

IV. ANALISIS

Pada bab ini, akan dilakukan analisis graf yang berkaitan dengan *state* dalam suatu permainan catur untuk memprediksi kemenangan pada permainan catur bersangkutan. Prediksi akan kemenangan pemain pada sebuah permainan catur membutuhkan data dari fitur-fitur yang didapatkan dari analisis yang dilakukan terhadap tiga graf yang telah dibahas pada Bab III. *Gambar 4.1* menunjukkan sebuah *state* dalam permainan catur dan *Gambar 4.2* menunjukkan graf yang menggambarkan *state* pada *Gambar 4.1*.



Gambar 4.1. State Permainan Catur. Sumber: <https://chess.com/analysis>



Gambar 4.2 Tiga jenis graf pada state Gambar 4.1.

Untuk menilai fitur dari graf di atas kita perlu memilah himpunan simpul menjadi dua bagian yaitu komponen hitam (bidak hitam atau petak yang dikuasai hitam) dan komponen putih (bidak putih atau petak yang dikuasai oleh putih). Kemudian membentuk himpunan simpul tersebut menjadi sebuah pohon. Selanjutnya kita akan menilai fitur graf untuk tiap komponen. Fitur yang akan dinilai sebagai berikut.

- (1) Derajat terkecil dari simpul yang lebih besar dari 0
- (2) Derajat terbesar dari simpul
- (3) Rata-rata derajat dari graf
- (4) Derajat tiap simpul
- (5) Kepadatan graf
- (6) Jumlah simpul
- (7) Jumlah busur
- (8) Menghitung koefisien pengelompokan
- (9) Ukuran dengan kesamaan fitur terbesar
- (10) Ukuran himpunan dengan busur pokok paling minimum
- (11) Ukuran himpunan dengan simpul berkaitan terkecil
- (12) Jumlah simpul pada 3-core
- (13) Jumlah simpul pada 2-core
- (14) Rasio antara jumlah simpul yang masuk ke simpul berwarna sama dengan jumlah simpul yang masuk ke simpul berwarna berbeda.
- (15) Rasio antara jumlah simpul yang keluar ke simpul berwarna sama dengan jumlah simpul yang keluar ke simpul berwarna berbeda.
- (16) Rata-rata jumlah simpul yang masuk ke simpul dengan warna berbeda.

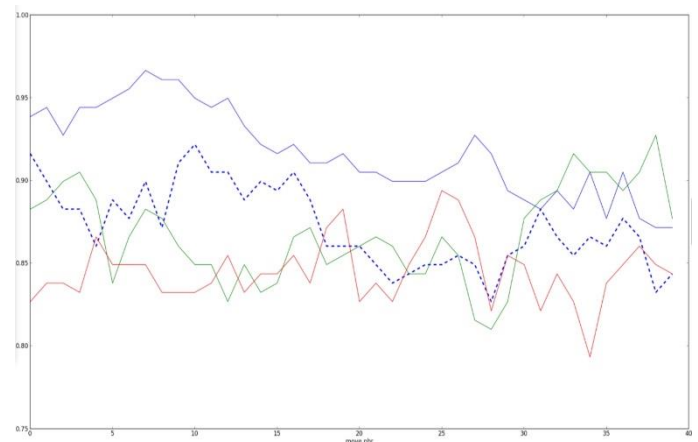
Setiap fitur di atas dapat menentukan strategi pemain mana yang lebih baik. Dengan data yang ada, kita sudah dapat menentukan pola permainan dari kedua pemain. Fitur-fitur yang sudah dinilai tersebut selanjutnya akan dimodelkan dengan menggunakan vektor. Namun, hasil dari fitur ini hanya akan lebih efektif jika permainan berada di tahap akhir, sedangkan pada tahap awal khususnya ketika belum ada pemain yang melakukan langkah, hasil dari fitur ini tidak berguna karena hanya menampilkan hasil 50-50 untuk kedua pemain yang mana seimbang. Untuk mempermudah analisis, kita dapat melakukan

filter dimana sebuah permainan catur berhasil dimenangkan oleh salah satu pemain ketika pemain menang dengan cara 'skakmat' mengabaikan waktu yang dimiliki tiap pemain karena ketika seorang pemain memiliki posisi bidak-bidak yang jauh lebih baik namun kehabisan waktu dalam kenyataannya dihitung sebagai kekalahan. Selanjutnya, fitur-fitur dari tiap graf ini akan dianalisis dengan menggunakan vektor yang komponen-komponennya merupakan fitur-fitur graf pada langkah ke-(n - i) dimana n adalah langkah yang paling baru dilakukan.

$$S_{pfi} = \{f_{pi}, f_{pi-1}, f_{pi-2}, \dots, f_{pi-9}\}$$

—dimana S_{pfi} merupakan himpunan vektor yang elemennya adalah nilai fitur f

— dan f_{pi} adalah fitur pemain p pada langkah i



Gambar 4.3 Grafik perbandingan tiap graf dalam memprediksi kemenangan dari pemain dalam permainan catur. Sumber : Derek Farren, Daniel Templeton, and Meiji Wang, "Analysis of Network in Chess". Dibaca pada 5 Desember 2019, pukul 17.20

Pada Gambar 4.3, graf penunjang ditunjukkan sebuah grafik yang mengukur keefektifan tiap jenis graf yang mewakili state pada permainan catur. Sumbu horizontal menggambarkan langkah pemain catur dari belakang. Sedangkan, sumbu vertikal menunjukkan ukuran keefektifan dari graf yang digunakan dengan skala desimal. Grafik berwarna biru menggambarkan tingkat keefektifan penggunaan graf penunjang dalam memprediksi kemenangan pada permainan catur pada langkah ke- i (dari belakang). Grafik berwarna merah menggambarkan tingkat keefektifan penggunaan graf pergerakan dalam memprediksi kemenangan pada permainan catur pada langkah ke- i , dan grafik berwarna hijau menggambarkan tingkat keefektifan penggunaan graf posisi dalam memprediksi kemenangan pada permainan catur pada langkah ke- i . Pada grafik tersebut dapat terlihat bahwa tingkat keefektifan penggunaan graf penunjang adalah yang paling tinggi dibandingkan dengan graf pergerakan dan graf posisi. Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa tingkat keefektifan dari tiap graf nilainya fluktuatif pada tiap langkah, tidak selalu meningkat seiring banyaknya langkah yang dilakukan. Namun, semakin

mendekati permainan akhir, tingkat keefektifan dari tiap graf cenderung lebih besar dibandingkan pada tahap pertengahan maupun pada awal-awal permainan.

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis terhadap penggunaan graf untuk memprediksi kemenangan pada permainan catur, kita dapat menyimpulkan bahwa pengaplikasian graf sangat efektif dalam melakukan prediksi terhadap permainan catur, terlebih jika graf yang dibentuk merupakan graf penunjang. Kesimpulan lain yang dapat kita Tarik ialah, prediksi dengan menggunakan graf akan menjadi lebih efektif pada tahap akhir permainan, walaupun tingkat keefektifannya fluktuatif dan tidak selalu meningkat untuk tiap langkah yang dilakukan.

REFERENCES

- [1] <https://www.dictionary.com/browse/chess> Diakses pada 5 Desember 2019, pukul 15.44
- [2] <https://www.britannica.com/topic/chess> Diakses pada 5 Desember 2019, pukul 15.46
- [3] Irning Chernev, Logical Chess : Move by Move, 1957. Dibaca pada 5 Desember 2019, pukul 15.57
- [4] Derek Farren, Daniel Templeton, and Meiji Wang, "Analysis of Network in Chess". Dibaca pada 5 Desember 2019, pukul 17.20
- [5] <https://www.ebi.ac.uk/training/online/course/network-analysis-protein-interaction-data-introduction/introduction-graph-theory/graph-theory> Diakses pada 5 Desember 2019, pukul 16.33
- [6] <https://www.chess.com> Diakses pada 5 Desember 2019, 20.00
- [7] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352711018301687> Diakses pada 5 Desember 2019, pukul 21.32

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 5 Desember 2019

Ttd (scan atau foto ttd)



Fadhil Muhammad Rafi' 13518079