

Analisis Informasi Jaringan Homogen dan Heterogen pada Liga Champions UEFA (*Analysis of Homogeneous and Heterogeneous Network Information on the UEFA Champions League*)

Rahman Taufik^{1*}, Muhaqiqin Muhaqiqin², Igit Sabda Ilman³, Ridho Sholehurrohman⁴

Jurusan Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung, Lampung^{1,2,3,4}

rahman.taufik@fmipa.unila.ac.id^{1*}, muhaqiqin@fmipa.unila.ac.id², igit.sabda@fmipa.unila.ac.id³, ridho.sholehurrohman@fmipa.unila.ac.id⁴



Riwayat Artikel

Diterima pada 3 Maret 2023

Revisi 1 pada 8 April 2023

Revisi 2 pada 10 April

Disetujui pada 27 April 2023

Abstract

Purpose: The interpretation of network analysis research can be challenging today. The aim of this study is to analyze the homogeneous and the heterogeneous network information that occurred in the UEFA Champions League 2017-2018.

Research Methodology: To obtain an interpretation of the results of network information analysis, centrality measurements and community detection were performed, where the centrality measurements methods used are Degree centrality, Betweenness centrality, Eigencentrality, PageRank, while community detection method used is performed using the Louvain.

Result: The homogenous and heterogeneous network analysis was conducted using dataset of 17980 players, 32 teams, and 128 matches in Champions League 2017-2018. In this analysis, homogenous and heterogeneous network schemes were used to represent objects and relationships between objects in the network. The analysis was based on centrality measurements to identify influential nodes and community emergence within the network. The result is an interpretation of network analysis in the form of information about the roles of players, teams, countries, locations, formations, and skills that affect the performance of UEFA Champions League.

Limitation: the use of diverse data sources, the application or development of data analysis techniques, and the formation of a broader network scheme

Contribution: Obtaining information related to the UEFA Champions League based on the interpretation result of the analysis of homogeneous and heterogeneous networks

Keywords: Heterogeneous Network, Homogeneous Network, Network Analysis, UEFA Champion League.

How to cite: Taufik, R., Muhaqiqin, M., Ilman, I, S., Sholehurrohman, R. (2022). Analisis Informasi Jaringan Homogen dan Heterogen pada Liga Champions UEFA. *Jurnal Ilmu Siber dan Teknologi Digital*, 1(2), 91-110.

1. Pendahuluan

Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian analisis informasi jaringan telah menjadi perhatian yang sangat luas dan berkembang pesat seiring ketersediaan jenis basis data online yang tersebar dimana-mana, contohnya seperti database online bibliographic seperti DBLP, social website seperti Twitter, Instagram dan lain-lain. Database online tersebut sebagian besar membentuk jaringan yang terdiri dari berbagai macam objek yang saling terkait dan membentuk sebuah makna informasi (Angles, et al., 2013). Analisis informasi jaringan awalnya diasumsikan sebagai jaringan homogen yang meliputi hubungan antar objek sejenis, jaringan ini tidak mempertimbangkan hubungan lebih dari satu jenis objek. Meskipun jaringan homogen dapat mengungkap struktur jaringan, nyatanya sebagian besar

jaringan memiliki lebih dari satu jenis objek, contohnya hubungan antara author berdasarkan topik, publikasi atau tempat conference. Bagaimanapun sebagian besar data di dunia nyata merupakan jaringan yang terhubung dengan berbagai macam tipe objek berbeda, jaringan ini disebut dengan jaringan heterogen (Luo, et al., 2014; Shi, et al., 2016; Huang, et al., 2021). Dengan menganalisis jaringan homogen dan heterogen, penulis dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang hubungan antara objek yang berbeda, dan bagaimana hubungan ini memengaruhi perilaku sistem yang kompleks (Noliya & Kumar, 2020). Oleh karena itu, jaringan informasi homogen dan heterogen penting untuk dipelajari karena dapat memberikan wawasan yang berharga terhadap struktur dan fungsi sistem secara keseluruhan. Kedua jenis jaringan ini dapat dianalisis untuk mengungkap informasi penting tentang sistem yang mendasarinya. Selain itu juga dapat membantu penulis untuk mengidentifikasi objek penting dalam jaringan. Karakteristik lain dalam jaringan yang dapat dipelajari adalah struktur jaringan yang mengandung komunitas. Secara umum komunitas pada jaringan dapat didefinisikan sebagai sekelompok objek yang memiliki hubungan serupa atau saling terkait sehingga membentuk kelompok yang sama (Qiu, et al., 2015; Boden, et al., 2014). Identifikasi struktur komunitas merupakan salah satu prosedur analisis dalam memahami struktur jaringan di suatu bidang.

Bidang ilmu yang diterapkan pada studi analisis informasi jaringan ini adalah bidang Ilmu Olahraga, dengan fokus pada pertandingan UEFA Champions League pada musim 2017-2018. Liga Champions dipilih sebagai topik studi karena memiliki karakteristik yang berbeda dari liga-liga lainnya. Liga champion merupakan liga terpenting karena banyak dirujuk oleh tim pencari bakat, transfer pemain, strategi bermain, dan lain-lain. Selain itu, liga champion merupakan liga terbesar yang diikuti oleh banyak benua dan meliputi beberapa tahapan seleksi dari mulai play-off, grup, 16 besar, 8 besar, semifinal hingga final. Meskipun pertandingan UEFA Champions *League* tahun 2017-2018 sudah dilaksanakan dan sudah diketahui tim mana yang menjadi juara, siapa pemain terbaik, statistik pemain di setiap pertandingan dan informasi lainnya, tetapi ada beberapa informasi lain yang bisa didapatkan menggunakan penerapan jaringan, khususnya relasi antara pemain, kemampuan individu pemain, tim, pertandingan dan faktor lainnya di liga champion.

Beberapa penelitian analisis informasi jaringan di berbagai bidang studi, seperti Biologi, Matematika Terapan, Ilmu Komputer dan Ilmu Sosial (Javed, et al., 2018; Hu, et al., 2019; Chunaev, 2020; Jin, et al., 2021, Taufik, et al 2022), telah berhasil diterapkan dan dianalisis. Namun, permasalahan yang ada adalah interpretasi hasil dari penelitian-penelitian tersebut masih rendah. Selain itu, studi analisis yang diterapkan hanya menggunakan salah satu jenis jaringan saja, entah itu homogen ataupun heterogen. Interpretasi hasil penelitian jaringan informasi homogen dan heterogen dapat menjadi tantangan. Kompleksitas struktur jaringan dan metode analisis yang digunakan dapat mempengaruhi penarikan kesimpulan.

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, studi analisis informasi jaringan homogen atau heterogen sudah banyak diterapkan diberbagai macam domain ilmu, namun interpretasi hasilnya masih rendah. Bahkan analisis jaringan homogen dan heterogen untuk liga Champion UEFA belum pernah diinterpretasi hasilnya. Oleh karena itu, rumusan masalah pada studi ini adalah interpretasi hasil analisis informasi jaringan homogen dan heterogen pada liga champion UEFA dengan menggunakan metode-metode analisis seperti *centrality measurement* dan *community detection*.

1.2 Tujuan

Tujuan dalam studi ini adalah untuk menginterpretasi hasil analisis informasi jaringan homogen dan heterogen yang terjadi dalam pertandingan liga Champions UEFA 2017-2018. Untuk mencapai tujuan tersebut, informasi-informasi penting perlu dianalisis, antara lain adalah: (a) *node* penting yang ada didalam jaringan liga Champions UEFA 2017-2018 berdasarkan *centrality measurement*; (b) komunitas yang terbentuk pada liga Champions UEFA 2017-2018; dan (c) struktur dan karakteristik jaringan yang terbentuk pada liga Champions UEFA 2017-2018.

2. Tinjauan Pustaka dan Pengembangan Hipotesis

2.1 Network Analysis

Network adalah suatu kumpulan individu yang saling terkait berdasarkan situasi tertentu, dimana di dunia nyata diwakili oleh orang atau objek yang direpresentasikan sebagai *node* dan hubungan sosialnya yang direpresentasikan sebagai *edge* (Singh, 2022). Suatu informasi jaringan didefinisikan sebagai graf $G = (V, E)$, terdiri dari V yang dipetakan sebagai objek A dan E yang dipetakan sebagai relasi R (Shi, et al., 2018). Selanjutnya, jaringan dapat dianalisis yang mana ini merupakan sub area dalam *data mining*. Analisis jaringan mengidentifikasi hubungan jaringan yang terbentuk dalam proses penyebaran informasi (Kong, 2019).

2.2 Homogeneous Information Network

Homogeneous Information Network merupakan jaringan yang memiliki satu jenis relasi R antar objek A . Jaringan informasi homogen memiliki asumsi dasar yang sama yaitu jenis objek dan relasi adalah unik. Jaringan homogen ini biasanya diekstraksi dari sistem yang mempertimbangkan satu jenis hubungan diantara satu jenis objek (Shi, et al., 2019).

2.3 Heterogeneous Information Network

Heterogeneous Information Network (HIN) merupakan jaringan yang memiliki lebih dari satu jenis relasi R antar lebih dari satu objek A . Pemetaan skema jaringan diperlukan untuk memahami tipe objek dan tipe relasi dalam jaringan HIN, pemetaan ini menentukan set objek dan hubungan antar objek tersebut. Berbeda dengan jaringan homogen, dua objek dalam jaringan heterogen dapat dihubungkan melalui *edges* yang berbeda, yang mana ini dinyatakan sebagai suatu meta-path (Shi, et al., 2018).

2.4. Centrality measurement

Centrality measurement digunakan untuk mencari keberadaan *node* “penting” baik dalam jaringan homogen maupun heterogen (Serrano & Gomez, 2020). Adapun metode *centrality measurement* yang digunakan antara lain:

2.4.1 Degree Centrality

Degree centrality merujuk pada *node* dengan *degree* terbesar yang ada didalam jaringan. *Degree* ini berdasarkan jumlah tetangga yang terdekat dengan *node* tersebut. *Degree centrality* mengukur pengaruh suatu *node* terhadap *node* lainnya dalam suatu jaringan. Formula *degree centrality* dapat dilihat pada formula (1), dimana $|V|$ merepresentasikan jumlah simpul N , i merepresentasikan referensi *node*, a_{ij} merepresentasikan jumlah sisi bertetangga yang berasal dari *node*, dan $\deg(i)$ merepresentasikan derajat (Tsiotas & Polyzos, 2015).

$$C_i^d = \frac{1}{|V| - 1} \cdot \sum_{j=1}^{|V|} a_{ij} = \frac{\deg(i)}{N - 1} \quad (1)$$

2.4.2 Betweenness Centrality

Betweenness centrality merujuk pada *node* yang bertindak sebagai jembatan sepanjang jalur terpendek diantara dua *node* lainnya, *node* yang memiliki probabilitas tinggi pada jalur terpendek dipilih secara acak antara dua simpul yang memiliki hubungan yang tinggi. Jika suatu *node* memiliki *betweenness centrality* yang tinggi, maka hal ini menunjukkan bahwa *node* tersebut terletak pada *shortest path* antara *node* yang lainnya. Formula dari *betweenness centrality* ini dapat dilihat pada formula (2), dimana $\sigma_{ij}(k)$ merepresentasikan jumlah lintasan terpendek antara sepasang simpul (i, j) yang melewati simpul k dan σ_{ij} merepresentasikan jumlah total lintasan terpendek antara (i, j) (Tsiotas & Polyzos, 2015).

$$C_k^b = \sum_{i \neq k \in V} \sum_{j \neq k \in V} \frac{\sigma_{ij}(k)}{\sigma_{ij}} \quad (2)$$

2.4.3 Eigencentrality

Eigencentrality merujuk pada ukuran pengaruh suatu *node* tergantung pada jumlah tetangga dan kualitas koneksinya didalam jaringan. *Eigencentrality* mengukur pengaruh suatu *node* berdasarkan

jumlah *edge* yang dimiliki oleh suatu *node* yang dipengaruhi nilai *eigen* dari tetangga *node* tersebut. Formula Eigencentrality dapat dilihat pada formula (3), dimana v adalah tetangga dari u dan λ adalah konstanta (Saxena & Iyengar, 2020).

$$C_E(u) = (1/\lambda) \sum A_{uv} C_E(v) \quad (3)$$

2.4.4 PageRank

PageRank merujuk pada pencarian *node* penting yang biasanya digunakan pada jaringan berarah. Asumsi yang mendasari *PageRank* adalah bahwa *node* yang lebih penting cenderung menerima lebih banyak tautan daripada *node* lain. Formula *PageRank* dapat dilihat pada formula (4), dimana n merupakan jumlah *node* dalam jaringan, q merepresentasikan fungsi teleportation, k_v^{out} merepresentasikan out-degree dari *node* v : $v \rightarrow u$ merepresentasikan hubungan antara *node* v dengan u , $P(u)$ merepresentasikan probabilitas di *node* u ketika kondisi konvergen terpenuhi (Saxena & Iyengar, 2020).

$$P(u) = \frac{q}{n} + (1 - q) \sum_{v:v \rightarrow u} P(v) / k_v^{out} \quad (4)$$

2.5 Community detection

Community detection digunakan untuk mengidentifikasi sekelompok objek yang memiliki hubungan serupa atau saling terkait (Jin, et al., 2021). Metode Louvain merupakan teknik *community detection* yang penulis terapkan dikarenakan hal ini dapat membentuk subgraf dalam jaringan. Metode Louvain merujuk pada gagasan pencarian nilai modularitas yang maksimal berdasarkan kepadatan *edge* sehingga dapat membentuk subgraf, dalam hal ini komunitas (Zhang, et al., 2021).

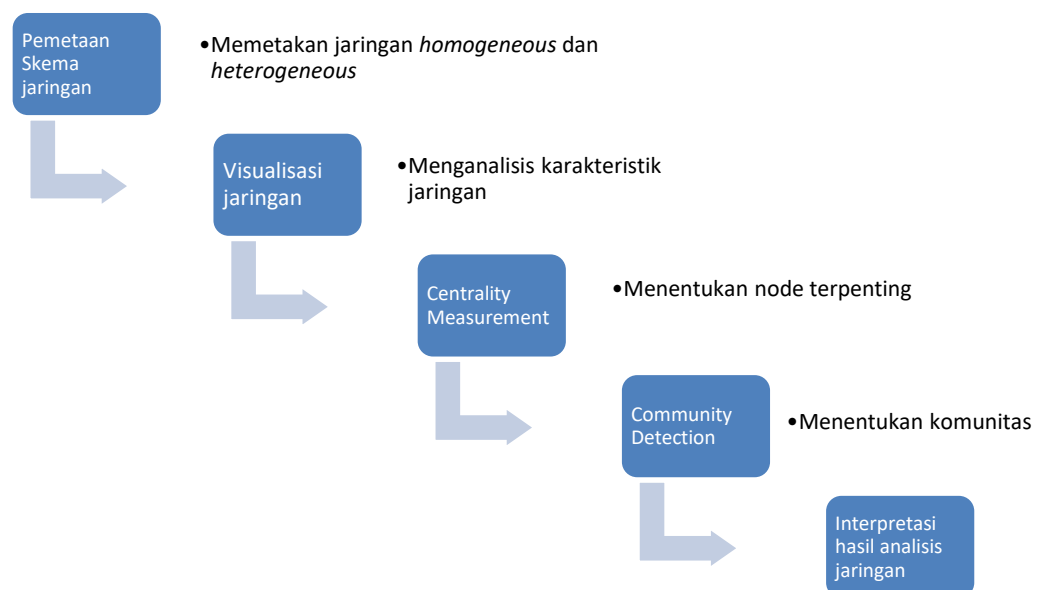
3. Metodologi Penelitian

3.1 Dataset

Untuk mendapatkan informasi dari jaringan liga champions yang dibangun, dalam studi ini menggunakan datasets UEFA Champions League tahun 2017-2018. Datasets ini dibagi kedalam tiga dataset antara lain *team*, *player* dan *league*. Dataset *player* diambil dari www.kaggle.com dengan jumlah data 17980 pemain. Sedangkan untuk dataset *league* dan *team* diambil dari www.uefa.com dengan jumlah data 32 tim dan 128 pertandingan.

3.2 Tahapan penelitian

Dalam studi ini, studi analisis jaringan dibentuk berdasarkan alur yang dibangun, alur ini meliputi pemetaan skema jaringan, visualisasi jaringan, penerapan metode *centrality measurement*, *community detection* dan interpretasi hasil analisis jaringan.



Gambar 1. Alur studi analisis jaringan

Alur yang ditunjukkan oleh gambar 1, menjelaskan tahapan analisis jaringan mulai dari pembentukan jaringan hingga interpretasi hasil analisis jaringan. Pertama, skema jaringan perlu dipetakan sesuai jenis jaringannya yaitu jaringan homogen dan heterogen, pemetaan ini ditujukan untuk membatasi dan mengarahkan analisis pembentukan jaringan. Visualisasi jaringan dilakukan untuk menganalisis struktur dan karakteristik jaringan yang dibedakan berdasarkan jenis jaringan dan meta-pathnya. Selanjutnya, dilakukan *centrality measurement* pada setiap meta-path untuk mendeteksi *node-node* penting menggunakan beberapa metode seperti *Degree centrality*, *Betweenness centrality*, *Eigencentrality*, dan *PageRank*. Selain itu, dilakukan juga *community detection* pada setiap meta-path untuk mendeteksi komunitas yang terbentuk dalam liga champion menggunakan metode Louvain. Terakhir, hasil dari analisis jaringan diinterpretasikan untuk mendapatkan informasi yang lengkap terkait UEFA liga champion.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pemetaan Skema Jaringan

4.1.1 Homogeneous Information Network

Penerapan *Homogeneous Information Network* dalam studi ini dibangun berdasarkan dataset *league*, setiap *team* yang bertanding dalam liga Champion UEFA 2017-2018 direpresentasikan sebagai hubungan dalam jaringan. Skema jaringan yang akan dibangun meliputi pertandingan antar *team* di liga Champion UEFA 2017-2018 dan kemenangan suatu *team* terhadap *team* lainnya di liga Champion UEFA 2017-2018.

Berikut ini merupakan penjelasan-penjelasan dari skema jaringan yang telah didefinisikan sebagai meta-paths dengan penamaan akronimnya:

- *Meta-path Team League Team-1 (TLT-1)*



Gambar 2. Jaringan TLT-1

Meta-path *team* dengan *league* berdasarkan match (TLT-1), jaringan direpresentasikan sebagai jaringan berarah, *team* sebagai *node* dan match sebagai *edge*

- *Meta-path Team League Team-2 (TLT-2)*



Gambar 3. Jaringan TLT-2

Meta-path *team* dengan *league* berdasarkan win atau kemenangan tim atas pertandingan (TLT-2), jaringan direpresentasikan sebagai jaringan berarah dan berbobot berdasarkan jumlah gol, *team* sebagai *node* dan kemenangan tim sebagai *edge*.

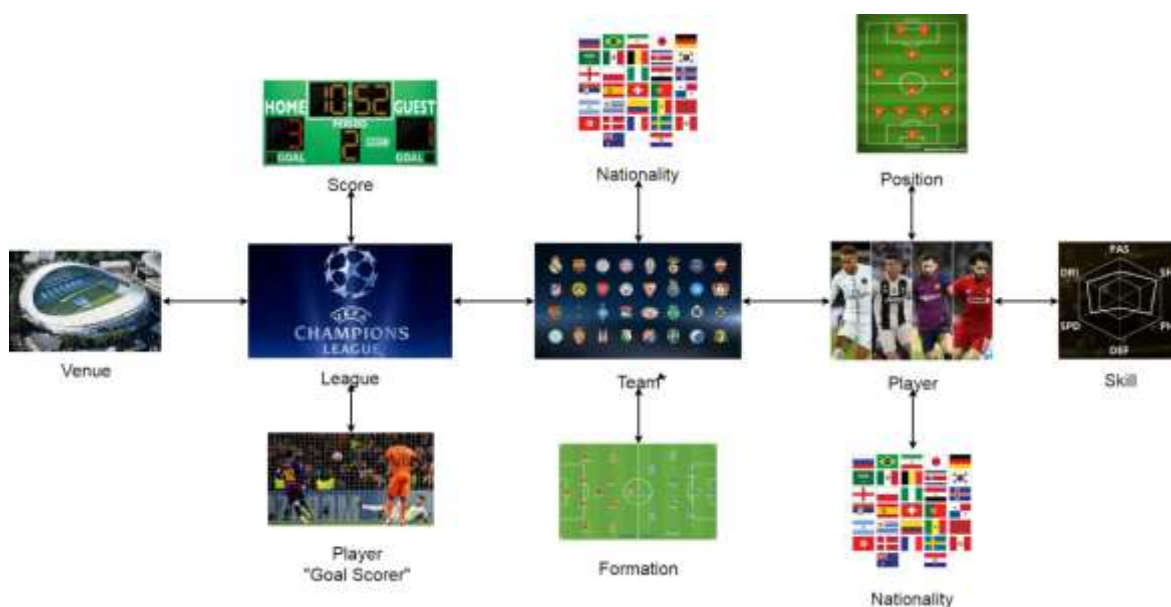
4.1.2 Heterogeneous Information Network

Heterogeneous Information Network yang diusulkan dalam studi ini direpresentasikan dalam bentuk jaringan tidak berarah dan berbobot. Selain itu, dilakukan pemetaan skema jaringan yang dibangun berdasarkan dataset *team*, *player*, dan *league*. Sebelum dibentuk meta-path, setiap dataset tersebut diidentifikasi terlebih dahulu, diambil beberapa atribut penting, kemudian dihubungkan satu sama lain sehingga membentuk skema jaringan.



Gambar 4. Jaringan *Heterogeneous Information Network* yang diusulkan

Skema jaringan yang ditujukan gambar 4, lingkaran-tebal merepresentasikan subjek, sedangkan lingkaran-tipis merepresentasikan atribut, baik subjek maupun atribut dapat direpresentasikan sebagai *node* atau *edge*, sedangkan bentuk jaringan merupakan jaringan tidak berarah, atau bisa disebut jaringan dua arah. Selain itu, skema jaringan dapat dibentuk menjadi sebuah jaringan utuh yang meliputi ketiga dataset tersebut, hal ini dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Representasi Jaringan *Heterogeneous Information Network* yang diusulkan

Pengembangan selanjutnya yaitu mendefinisikan meta-path berdasarkan skema jaringan *team*, *player*, dan *league*. Setiap skema memiliki lebih dari satu meta-path tergantung informasi yang ingin didapatkan dari skema jaringan tersebut, ini dapat dilihat pada tabel 1.

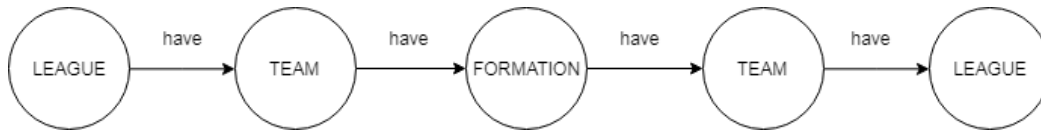
Tabel 1. Skema jaringan yang diusulkan

Skema jaringan	Meta-paths
<i>Team</i>	LTFTL, LTNTL
<i>Player</i>	TPNPT, TPPoPT, PoPSPPo
<i>League</i>	TLSLT, TLVLT, TLPLT

Berikut ini merupakan penjelasan-penjelasan dari meta-paths yang telah didefinisikan berdasarkan skema jaringan:

- *Meta-path League, Team, Formation, Team, League (LTFTL)*

Meta-path ini menjelaskan bahwa pada liga champion terdapat beberapa tim dengan formasi-formasi tertentu, hubungan antara tim yang bermain di liga champion berdasarkan formasi tim.



Gambar 6. Jaringan LTFTL

- *Meta-path League, Team, Nationality, Team, League (LTNTL)*

Meta-path ini menjelaskan bahwa pada liga champion terdapat beberapa tim yang berasal dari negara-negara tertentu, hubungan antara tim yang bermain di liga champion berdasarkan negara.



Gambar 7. Jaringan LTNTL

- *Meta-path Team, Player, Nationality, Player, Team (TPNPT)*

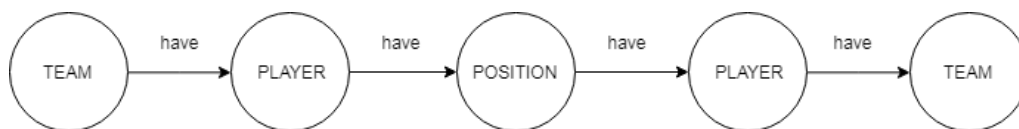
Meta-path ini menjelaskan bahwa pada tim terdapat beberapa pemain yang berasal dari negara-negara tertentu, hubungan setiap pemain pada setiap tim berdasarkan negara.



Gambar 8. Jaringan TPNPT

- *Meta-path Team, Player, Position, Player, Team (TPPoPT)*

Meta-path ini menjelaskan bahwa pada tim terdapat beberapa pemain yang memiliki posisi-posisi tertentu, hubungan setiap pemain pada semua tim berdasarkan posisi pemain.



Gambar 9. Jaringan TPPoPT

- *Meta-path Position, Player, Skill, Player, Position (PoPSPPo)*

Meta-path ini menjelaskan bahwa pada posisi yang dimiliki oleh, pemain terdapat *skill-skill* tertentu, hubungan setiap pemain berdasarkan *Skill* dilihat dari posisi pemain.



Gambar 10. Jaringan PoPSPPo

- *Meta-path Team, League, Score, League, Team (TSLST)*

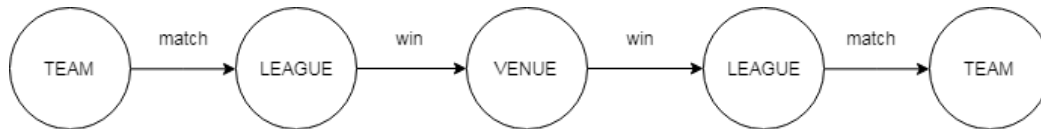
Meta-path ini menjelaskan bahwa tim yang bertanding di liga champion menang dengan jumlah gol tertentu, hubungan setiap tim dengan jumlah gol yang dicetak dalam pertandingan liga champion.



Gambar 11. Jaringan TLSLT

- *Meta-path Team, League, Venue, League, Team (TLVLT)*

Meta-path ini menjelaskan bahwa tim yang bertanding di liga champion menang pada *venue-venue* tertentu, hubungan setiap tim dengan *Venue* dalam pertandingan liga champion.



Gambar 12. Jaringan TLVLT

- *Meta-path Team, League, Player, League, Team (TLPLT)*

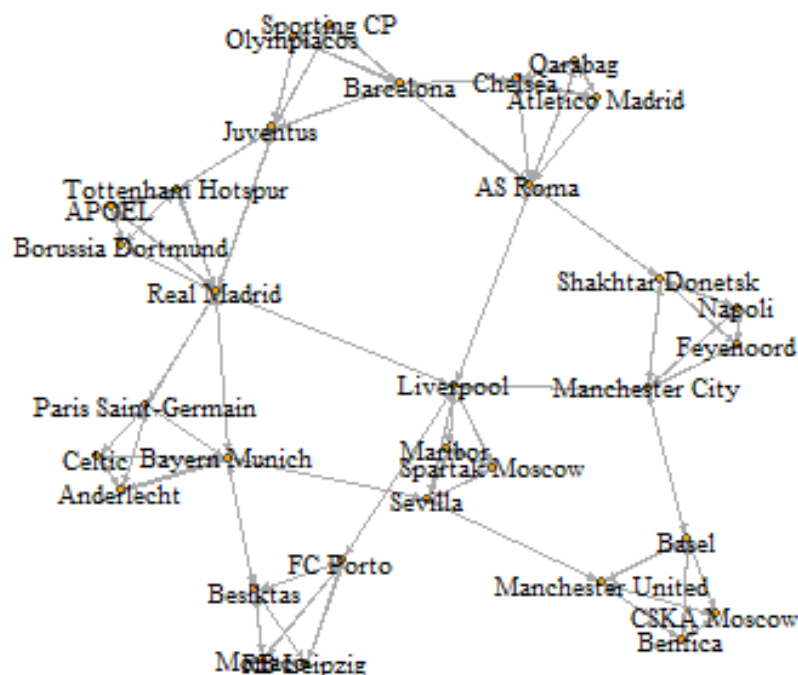
Meta-path ini menjelaskan bahwa tim yang bertanding di liga champion memiliki pemain-pemain tertentu yang mencetak gol, hubungan setiap tim dengan pemain yang mencetak gol dalam pertandingan liga champion.



Gambar 13. Jaringan TLPLT

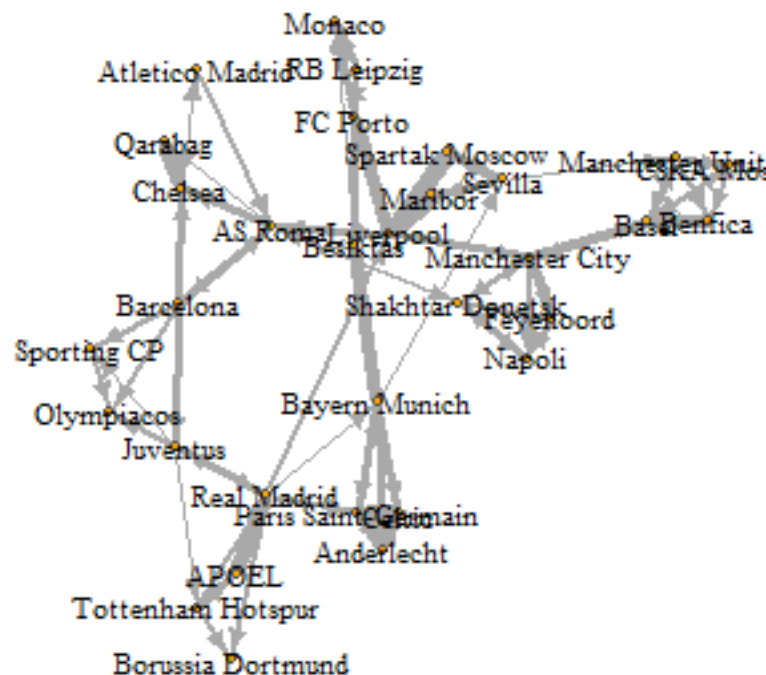
4.2 Visualisasi Jaringan

Visualisasi jaringan dibedakan atas jenis jaringan, yaitu jaringan homogen dan jaringan heterogen, serta meta-path yang dibangun dari masing-masing jaringan. Setiap jaringan memiliki karakteristik visual yang berbeda meliputi perbedaan jenis *node* dan *edge* yang divisualisasikan dengan bentuk dan warna yang berbeda.



Gambar 14. Visualisasi jaringan TLT-1

Visualisasi jaringan diatas merepresentasikan jaringan homogen TLT-1 meliputi *node* yang divisualisasikan sebagai nama-nama tim dan *edge* yang divisualisasikan sebagai garis yang menghubungkan antar tim.



Gambar 15. Visualisasi jaringan TLT-2

Visualisasi jaringan diatas merepresentasikan jaringan homogen TLT-2 meliputi *node* yang divisualisasikan sebagai nama-nama tim dan *edge* berbobot berarah yang divisualisasikan sebagai garis panah tebal tergantung bobot yang dimilikinya.



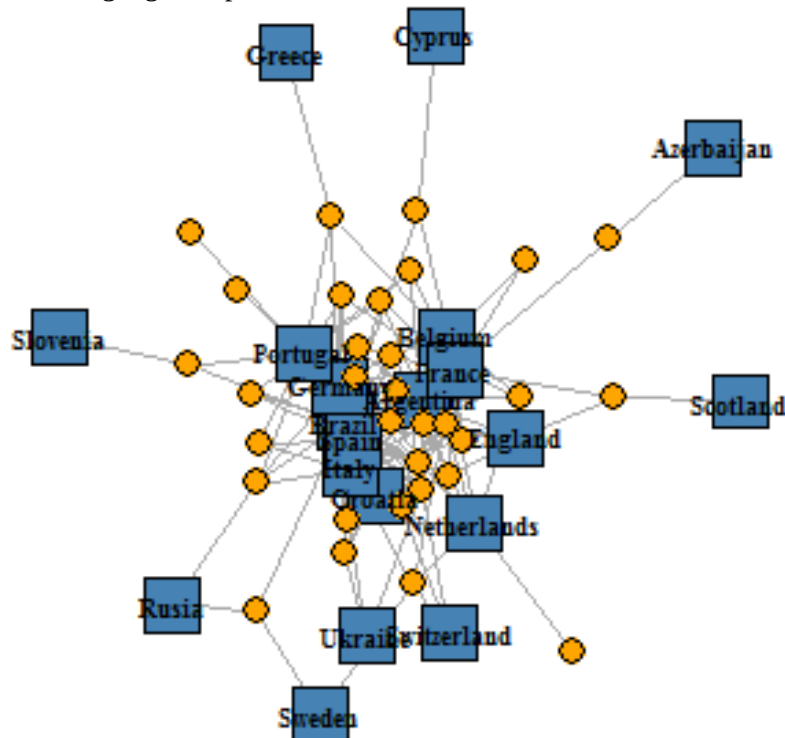
Gambar 16. Visualisasi jaringan LTFTL

Visualisasi jaringan diatas merepresentasikan jaringan heterogen LTFTL meliputi *node* tim yang divisualisasikan dengan warna merah, *node* formasi yang divisualisasikan dengan warna hitam dan *edge* yang divisualisasikan sebagai garis.



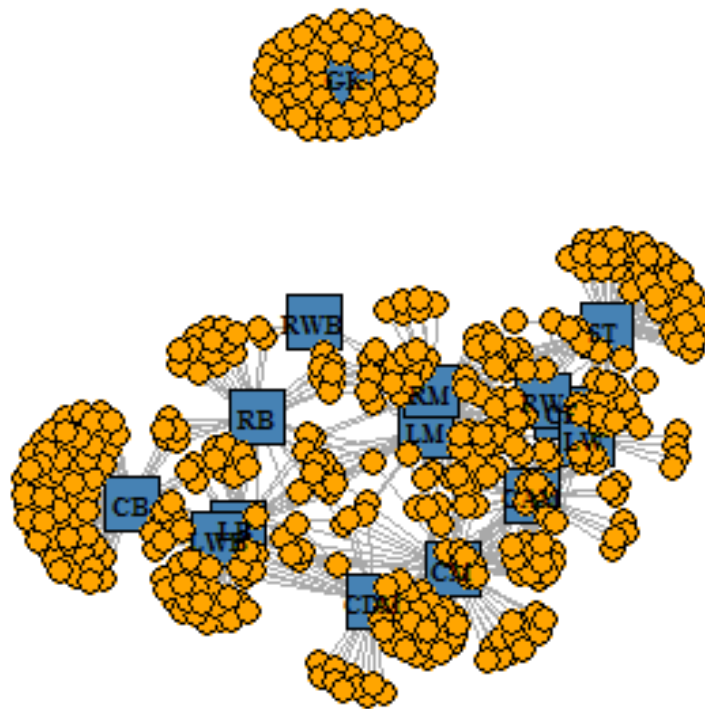
Gambar 17. Visualisasi jaringan LTNTL

Visualisasi jaringan diatas merepresentasikan jaringan heterogen LTNTL meliputi *node* tim yang divisualisasikan dengan warna merah, *node* negara yang divisualisasikan dengan warna hitam dan *edge* yang divisualisasikan sebagai garis tipis.



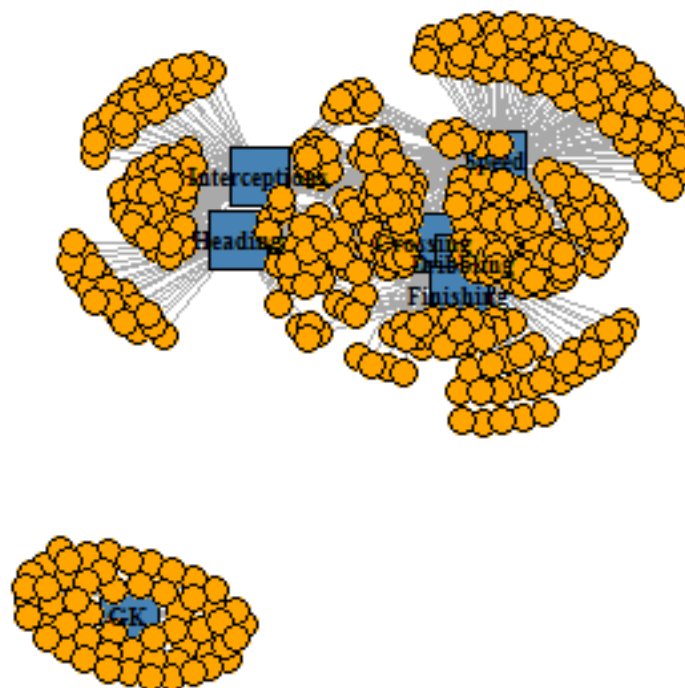
Gambar 18. Visualisasi jaringan TPNPT

Visualisasi jaringan diatas merepresentasikan jaringan heterogen TPNPT meliputi *node* pemain yang divisualisasikan sebagai lingkaran oranye, *node* negara asal yang divisualisasikan sebagai persegi biru dengan nama dan *edge* yang divisualisasikan sebagai garis tipis.



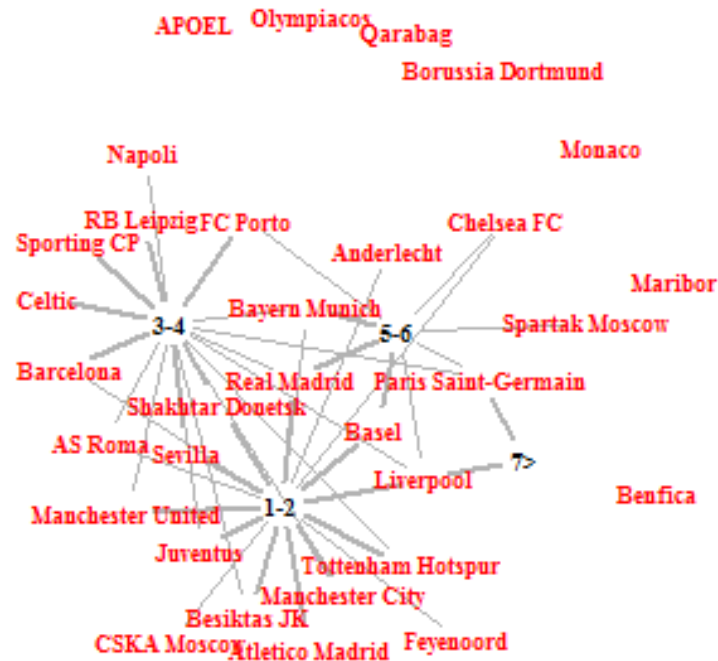
Gambar 19. Visualisasi jaringan TPPoPT

Visualisasi jaringan diatas merepresentasikan jaringan heterogen TPPoPT meliputi *node* pemain yang divisualisasikan sebagai lingkaran oranye, *node* posisi pemain yang divisualisasikan sebagai persegi biru dengan nama dan *edge* yang divisualisasikan sebagai garis tipis.



Gambar 20. Visualisasi jaringan PoPSPPo

Visualisasi jaringan diatas merepresentasikan jaringan heterogen PoPSPPo meliputi *node* pemain yang divisualisasikan sebagai lingkaran oranye, *node Skill* pemain yang divisualisasikan sebagai persegi biru dengan nama dan *edge* yang divisualisasikan sebagai garis tipis.



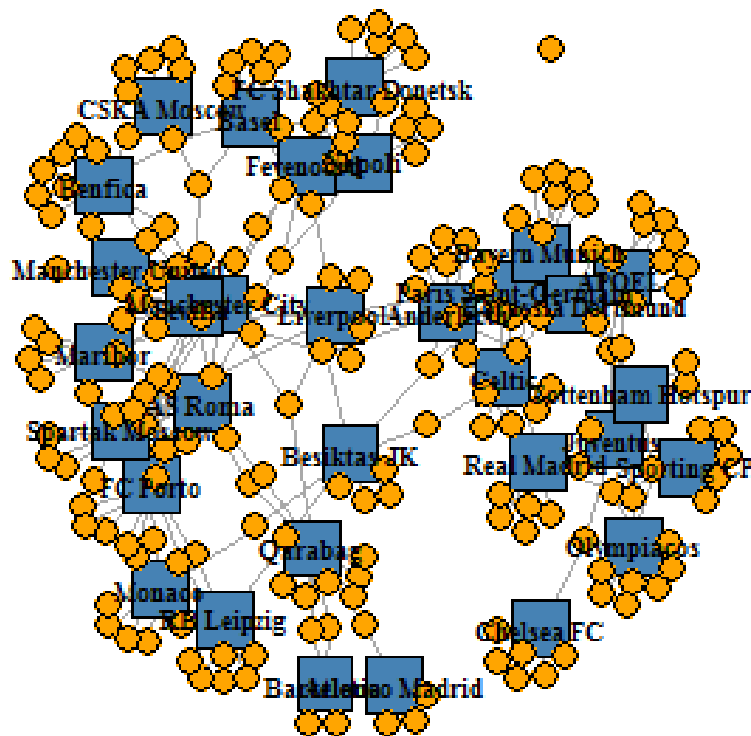
Gambar 21. Visualisasi jaringan TLSLT

Visualisasi jaringan diatas merepresentasikan jaringan heterogen TLSLT meliputi *node* kemenangan tim dengan gol tertentu yang divisualisasikan dengan warna merah, *node* jumlah skor yang divisualisasikan dengan warna hitam dan *edge* yang divisualisasikan sebagai garis tebal tergantung bobot.



Gambar 22. Visualisasi jaringan TLVLT

Visualisasi jaringan diatas merepresentasikan jaringan heterogen TLVLT meliputi *node* kemenangan tim yang divisualisasikan dengan warna merah, *node Venue* stadion yang divisualisasikan dengan warna hitam dan *edge* yang divisualisasikan sebagai garis tipis.



Gambar 23. Visualisasi jaringan TLPLT

Visualisasi jaringan diatas merepresentasikan jaringan heterogen TLPLT meliputi *node* pencetak gol yang divisualisasikan sebagai lingkaran oranye, *node* tim yang divisualisasikan sebagai persegi biru dengan nama dan *edge* yang divisualisasikan sebagai garis tipis.

4.2 Centrality measurement

Centrality measurement dibedakan atas jaringan homogen dan jaringan heterogen. Masing-masing jaringan memiliki ukuran centrality dan *node-node* penting berdasarkan meta-path yang dibangun. Hasil pengukuran centrality untuk jaringan homogen dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil *centrality measurement* jaringan homogen

Meta-path	Degree Centrality	Eigencentrality	Betweenness Centrality
TLT	0,1673387	0,5454705	0,3875824
TLT berbobot	0,08636837	0,5583209	0,3314742

Berikut merupakan tiga besar *node* “penting” dalam jaringan homogen:

- Jaringan TLT
 - Degree Centrality
 Liverpool 13 Real Madrid 13 Bayern Munich 12
 - Eigencentrality
 Real Madrid 1.0000000 Liverpool 0.8984204 Bayern Munich 0.8542590
 - Betweenness Centrality

- Liverpool Real Madrid AS Roma
 - 205.50000 136.56667 116.08333
 - PageRank
 - Liverpool Real Madrid AS Roma
 - 0.04814544 0.04798189 0.04512909
- Jaringan TLT berbobot
 - Degree Centrality
 - Liverpool Real Madrid Bayern Munich
 - 13 13 12
 - Eigencentrality
 - AS Roma Spartak Moscow Liverpool
 - 1.0000000 0.9298050 0.8478728
 - Betwenness Centrality
 - Bayern Munich Sevilla Real Madrid
 - 365.4698 330.9864 319.1775
 - PageRank
 - Liverpool AS Roma Benfica
 - 0.04439022 0.04299561 0.04186507

Hasil *centrality measurement* untuk jaringan heterogen dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil *centrality measurement* jaringan heterogen

Meta-path	Degree Centrality	Eigencentrality	Betwenness Centrality
LTFTL	0,2035354	0,8173804	0,4396622
LTNTL	0,07656023	0,9757634	0,007265924
TPNPT	0,280543	0,6674499	0,2364461
TPPoPT	0,2130602	0,9488698	0,273891
PoPSPPo	0,4924619	0,934102	0,3729098
TLSLT	0,4412698	0,779443	0,2848432
TLVLT	0,06299603	0,8808777	0,2632509
TLPLT	0,04594636	0,8995627	0,313564

Berikut merupakan tiga besar *node* “pentng” dalam jaringan heterogen:

- Jaringan LTFTL
 - 4-3-3 4-2-3-1 4-4-2
 - 0.10465627 0.09930137 0.06995926
- Jaringan LTNTL
 - England Italy Spain
 - 0.06904715 0.05786809 0.05786809
- Jaringan TPNPT
 - France Brazil Portugal
 - 0.06326727 0.06116149 0.05215283
- Jaringan TPPoPT
 - CB GK CM
 - 0.06632530 0.05503371 0.05352134
- Jaringan PoPSPPo
 - Speed Dribbling Interceptions
 - 0.11681429 0.08645333 0.06765565
- Jaringan TLSLT
 - 1-2 3-4 5-6
 - 0.20071062 0.15461537 0.06240437
- Jaringan TLVLT
 - Real.Madrid Bayern.Munich Chelsea.FC
 - 0.04057412 0.03233935 0.02894042

- Jaringan TLPLT

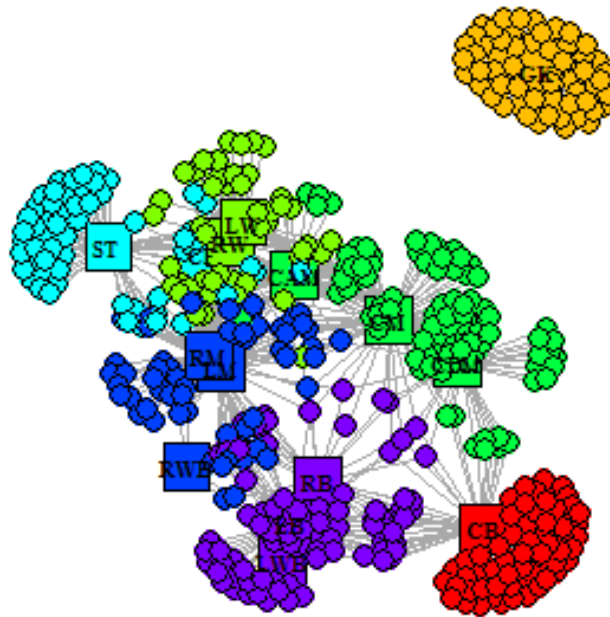
Salah
0.0082830223

Firmino
0.0082830223

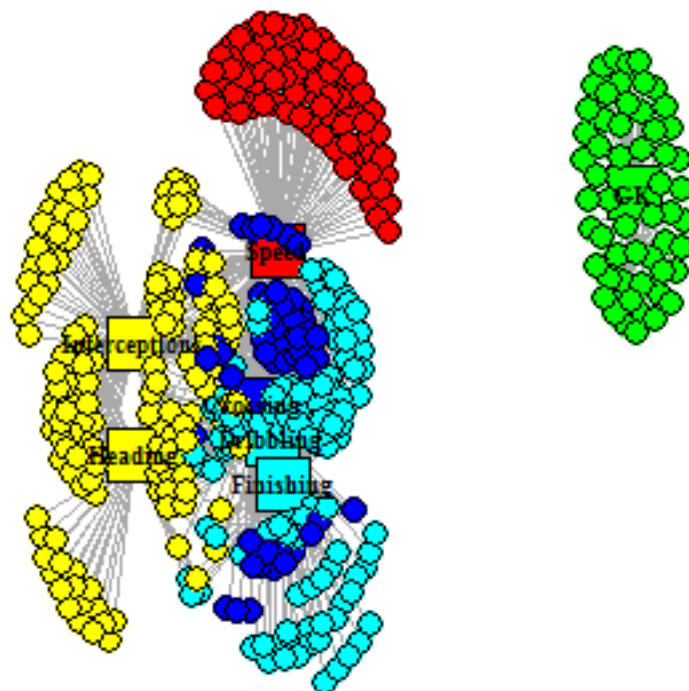
Mane
0.0082620343

4.3 Community detection

Penerapan *community detection* menggunakan metode Louvain dan tidak dilakukan pada semua jaringan, hal ini dimaksudkan karena tujuan *community detection* digunakan untuk mengidentifikasi sekelompok objek pada suatu jaringan, jadi hanya jaringan yang representatif datanya untuk diterapkan *community detection*, jaringan tersebut antara lain jaringan heterogen dengan meta-path PoPSPPo dan TPPoPT.



Gambar 24. Visualisasi *community detection*



Gambar 25. Visualisasi *community detection* PoPSPPo

Visualisasi diatas merupakan hasil dari deteksi komunitas jaringan TPPoPT. Komunitas ini merepresentasikan kelompok posisi pemain dengan pemain berdasarkan modularitas dari kepadatan relasi antar pemain disetiap tim. Kelompok pada TPPoPT terbagi menjadi 5 kelompok, antara lain:

- Kelompok warna biru: RWB, RB, LB, LWB, RM, LM
- Kelompok warna merah: CB
- Kelompok warna oranye: GK
- Kelompok warna hijau: CDM, CM, CAM, LW, CF, RW
- Kelompok warna biru langit: ST

Visualisasi diatas merupakan hasil dari deteksi komunitas jaringan PoPSPPo. Komunitas ini merepresentasikan kelompok *Skill* pemain dengan pemain berdasarkan modularitas dari kepadatan relasi antar pemain dan hubungannya dengan posisi pemain. Kelompok pada PoPSPPo terbagi menjadi 5 kelompok, antara lain:

- Kelompok warna kuning: Heading, Interception
- Kelompok warna hijau: GK
- Kelompok warna biru langit: Dribling, Finishing
- Kelompok warna biru: Crossing
- Kelompok warna merah: Speed

4.4 Interpretasi Hasil Analisis Jaringan

Informasi yang didapatkan dari penerapan jaringan liga champion UEFA 2017-2018 antara lain visualisasi jaringan, *node-node* penting berdasarkan *centrality measurement* dan deteksi komunitas menggunakan metode Louvain. Setiap informasi tersebut memiliki karakteristik dan hasil yang berbeda-beda sehingga perlu dianalisis lebih lanjut. Hasil dari visualisasi menunjukkan perbedaan disetiap jaringan, hal ini dapat dipengaruhi oleh meta-path serta data yang dipilih. Meta-path didefinisikan sebagai jaringan yang akan dibentuk berdasarkan skema jaringan baik jaringan homogen maupun heterogen. Sedangkan data yang dipilih meliputi objek yang direpresentasikan sebagai *node*, hubungan antar objek yang direpresentasikan sebagai *edge*, serta karakteristik hubungan seperti berarah, tidak berarah, berbobot, tidak berbobot yang direpresentasikan sebagai bentuk jaringan. Berdasarkan desain jaringan, *node*, *edge*, dan bentuk jaringan telah didefinisikan sebelumnya, jaringan homogen mewakili bentuk jaringan berarah, sedangkan jaringan heterogen mewakili bentuk jaringan tidak berarah. Selain bentuk jaringan, terdapat jaringan dengan karakteristik *sparse* atau *dense*, kedua karakteristik ini ditentukan oleh ukuran densitas atau kepadatan suatu jaringan. Jaringan *sparse* merepresentasikan *node-node* yang jarang berhubungan, sedangkan jaringan *dense* merepresentasikan *node-node* yang saling berhubungan atau mendekati graf komplit. Untuk lebih jelas, tabel 4 dapat dilihat sebagai informasi jaringan meta-path berdasarkan jenis, struktur dan karakteristik jaringan.

Tabel 4. Ringkasan hasil analisis jaringan

Meta-path	Jenis jaringan	Struktur jaringan	Karakteristik jaringan
TLT-1	Homogen	Berarah dan tidak berbobot	Dense
TLT-2	Homogen	Berarah dan berbobot	Dense
TLSLT	Heterogen	Tidak berarah dan berbobot	Sparse
LTFTL	Heterogen	Tidak berarah dan tidak berbobot	Sparse
LTNTL	Heterogen	Tidak berarah dan tidak berbobot	Sparse
TPNPT	Heterogen	Tidak berarah dan tidak berbobot	Sparse
TPPoPT	Heterogen	Tidak berarah dan tidak berbobot	Dense
PoPSPPo	Heterogen	Tidak berarah dan tidak berbobot	Dense

Meta-path	Jenis jaringan	Struktur jaringan	Karakteristik jaringan
TLVLT	Heterogen	Tidak berarah dan tidak berbobot	Sparse
TLPLT	Heterogen	Tidak berarah dan tidak berbobot	Sparse

Selanjutnya, dilakukan analisis berdasarkan hasil *centrality measurement* dalam menentukan *node-node* penting suatu jaringan, pengukuran centrality ini meliputi empat metode antara lain degree centrality, eigencentrality, betweenness centrality dan pagerank. Seperti yang telah dijelaskan di pendahuluan, bahwa informasi liga champion 2017-2018 untuk tim atau pemain terbaik sudah diketahui hasilnya, tim juara pertama adalah Real Madrid, juara kedua adalah Liverpool dan juara ketiga adalah Bayern Munich, sedangkan untuk pemain terbaik jatuh pada Christiano Ronaldo. Meskipun informasi penting sudah diketahui hasilnya, tetapi dengan *centrality measurement*, informasi penting berdasarkan faktor relasi di suatu jaringan dapat diperoleh. Jaringan homogen dengan meta-path TLT-1 dan TLT-2 sama-sama ditujukan untuk mendapatkan *team* terbaik, perbedaannya pada TLT-1 relasi dibentuk berdasarkan pertandingan antar tim, sedangkan pada TLT-2 relasi dibentuk berbobot berdasarkan kemenangan suatu tim dan jumlah gol. Pada TLT-1 hasil yang diperoleh hampir mendekati peringkat tim terbaik sesuai hasil asli, meskipun urutannya berbeda tetapi *team* Real Madrid, Liverpool, Bayern Munich, dan AS Roma (juara keempat) bergantian menduduki peringkat *node* terpenting berdasarkan keempat metode *centrality measurement*, tetapi hasil peringkat yang sama dengan peringkat asli hanya diperoleh metode eigencentrality. Sedangkan pada TLT-2 hasil yang diperoleh berbeda dengan hasil asli maupun TLT-1, terdapat beberapa tim yang seharusnya bukan tim dengan peringkat terbaik, seperti Sevilla, Spartak Moscow dan Benfica, meskipun begitu tim Liverpool, Bayern Munich, Real Madrid dan AS Roma sempat masuk ke dalam peringkat tiga terbaik tergantung metode *centrality measurement* yang digunakan, untuk metode yang hasil peringkatnya yang hampir mendekati hasil asli adalah Degree Centrality. Meskipun hasil pengukuran centrality dari jaringan TLT-1 dan TLT-2 belum merepresentasikan hasil yang sesuai dengan hasil dari liga champion 2017-2018, tetapi hal ini wajar karena peringkat *node* yang ditentukan hanya berdasarkan hubungan pertemuan antar tim, bukan seleksi kemenangan seperti yang diterapkan pada liga champion umumnya.

Selain menentukan *node-node* penting, *centrality measurement* digunakan untuk menentukan karakteristik didalam suatu jaringan, selain karakteristik *dense* dan *sparse*, informasi didalam jaringan dapat dikarakteristikan sebagai jaringan yang memiliki hubungan dengan jumlah degree besar merata (degree centrality), jaringan yang memiliki hubungan yang berkualitas (eigencentrality), atau jaringan yang memiliki shortest-path (betweenness centrality). Untuk ukuran centrality disetiap meta-path jaringan homogen, ketiga metode memiliki rata-rata nilai dibawah 0,5, hal ini menunjukkan bahwa jaringan homogen tidak terlalu merepresentasikan ketiga karakteristik diatas. Sedangkan untuk ukuran centrality disetiap meta-path jaringan heterogen, metode eigencentrality memiliki rata-rata nilai diatas 0,7-0,9, nilai tersebut mendekati 1 yang artinya banyak hubungan antar *node* yang berkualitas. Sedangkan untuk metode degree centrality dan betweenness centrality memiliki rata-rata nilai diatas 0,2-0,5, nilai tersebut menunjukkan bahwa hubungan dalam suatu jaringan belum sepenuhnya memiliki jumlah degree terbesar yang sama dan masih sedikit shortest-path yang menghubungkan setiap *node*. Jaringan yang terjadi di dunia nyata lebih representatif menggunakan jaringan jenis heterogen, hal ini berdasarkan banyaknya tipe-tipe objek dan relasi yang berkaitan. Dalam studi ini jaringan heterogen didefinisikan sebagai meta-path. Setiap meta-path dibangun berdasarkan tujuan yang ingin diperoleh dan skema jaringan yang bentuk. Skema jaringan yang pertama adalah *team*, skema ini memiliki meta-path LTFTL dan LTNTL. Jaringan LTFTL merepresentasikan hubungan *team* yang bertanding di liga champion dengan formasi yang digunakannya, berdasarkan *centrality measurement* diperoleh formasi 4-3-3, 4-2-3-1 dan 4-4-2, formasi-formasi tersebut terbukti menjadi formasi andalan tim yang memenangi pertandingan di liga Champion. Jaringan LTNTL merepresentasikan hubungan *team* yang bertanding di liga champion berdasarkan Negara dari *team* tersebut, Negara England, Italy dan Spain merupakan Negara yang banyak mengirimkan *team*nya dalam pertandingan liga champion UEFA 2018-2018. Skema jaringan kedua adalah pemain, skema ini memiliki meta-path TPNPT, TPPoPT, dan

PoPSPPo. Jaringan TPNPT merepresentasikan hubungan pemain dari setiap tim dengan Negara. Negara yang banyak menyumbang pemain dalam liga champion ini adalah France, Brazil dan Portugal. Jaringan TPPoPT merepresentasikan hubungan pemain dari setiap tim dengan posisi pemain. Posisi yang banyak dihuni oleh pemain disetiap tim antara lain CB (Centre Back), GK (Goal Keeper), dan CM (Center Midfielder). Jaringan PoPSPPo merepresentasikan hubungan posisi pemain dengan *Skill* pemain. *Skill* yang banyak dimiliki oleh pemain dalam setiap posisi antara lain Speed, Dribbling, dan Interception. Skema jaringan ketiga adalah *league*, skema ini memiliki meta-path TLSLT, TLVLT dan TLPLT. Jaringan TLSLT merepresentasikan hubungan *team* yang memenangkan pertandingan dengan jumlah skor. Peringkat range skor yang sering terjadi di liga champion 2017-2018 adalah 1-2, 3-4, dan 5-6 gol. Jaringan TLVLT merepresentasikan hubungan *team* yang memenangkan pertandingan berdasarkan *Venue*, baik *Venue* sendiri (tuan rumah) maupun *Venue* musuh. Peringkat *Team* terbaik yang meraih kemenangan di berbagai *Venue* adalah Real Madrid, Bayern Munich dan Chelsea. Jaringan TLSLT merepresentasikan hubungan pemain yang mencetak gol pada kemenangan tim nya dipertandingan liga champion. Peringkat pencetak gol terbaik adalah Salah, Mane dan Firminho.

Analisis terakhir adalah hasil dari detection community pada jaringan TPPoPT dan PoPSPPo. Kedua jaringan ini diambil berdasarkan tujuan informasi yang ingin didapatkan. Selain itu, kedua jaringan ini memiliki jumlah data yang melimpah serta karakteristiknya yang penuh (dense). Dalam jaringan TPPoPT, tujuan yang ingin diperoleh adalah pengelompokan posisi pemain, hal ini dikarenakan posisi pemain dapat mempengaruhi pola permainan dalam suatu tim. Berdasarkan detection community diperoleh 5 kelompok. Kelompok pertama yaitu RWB, RB, LB, LWB, RM, LM, kelompok ini memiliki pola permainan bertahan menyamping, baik dari samping kiri maupun kanan. Kelompok kedua yaitu CB yang memiliki pola bertahan ditengah. Kelompok ketiga yaitu GK yang memiliki pola bertahan di gawang. Kelompok keempat yaitu CDM, CM, CAM, LW, CF, RW, kelompok ini memiliki pola permainan menyerang menyamping, baik dari samping kiri maupun kanan. Kelompok kelima yaitu ST yang memiliki pola permainan menyerang didepan. Sedangkan dalam jaringan PoPSPPo, tujuan yang ingin diperoleh adalah pengelompokan *Skill* pemain berdasarkan posisi, hal ini dikarenakan *Skill* pemain menentukan posisi atau pola permainan. Berdasarkan detection community diperoleh 5 kelompok. Kelompok pertama yaitu *Skill* heading dan interception, *Skill-Skill* ini banyak dimiliki oleh pemain bertahan. Kelompok kedua yaitu *Skill* GK, *Skill* ini banyak dimiliki oleh penjaga gawang. Kelompok ketiga adalah *Skill* dribbling dan finishing, *Skill* ini banyak dimiliki oleh pemain menengah dan penyerang. Kelompok keempat adalah *Skill* crossing, *Skill* ini banyak dimiliki oleh pemain menengah. Kelompok kelima adalah *Skill* speed, *Skill* ini banyak dimiliki oleh pemain sayap. Hasil analisa yang didapatkan berdasarkan penerapan jaringan dapat menjawab pertanyaan-pertanyaan studi ini. Terdapat hasil yang tidak sesuai dengan hasil asli dari liga Champion 2017-2018, hal ini dapat terjadi karena pendekatan dalam studi ini menerapkan konsep jaringan dibandingkan dengan pendekatan dalam sistem liga Champion yang menerapkan konsep kompetensi atau seleksi.

5. Kesimpulan

Studi ini melakukan analisis jaringan homogen dan heterogen pada liga Champion 2017-2018 terhadap tiga dataset yaitu *player*, *team* dan *league*. Kedua jenis jaringan ini dibangun berdasarkan skema jaringannya yang didefinisikan sebagai meta-path, meskipun meta-path berbeda tetapi setiap meta-path mewakili objek, hubungan antar objek dan informasi yang bisa diperoleh untuk menjawab pertanyaan penelitian. Untuk menjawab *node* penting apa yang berpengaruh pada liga Champion UEFA tahun 2017-2018 adalah Real Madrid untuk *team*, France untuk Negara dan Salah untuk pemain. Real Madrid merupakan juara pada liga Champion 2017-2018, dalam penerapan studi ini, jaringan TLVLT menunjukan bahwa Real Madrid memang tim nomer satu yang selalu memenangi pertandingan disetiap *Venue*, dan hal ini membuktikan bahwa Real Madrid merupakan tim yang paling penting. Selanjutnya, Negara France adalah Negara yang paling berpengaruh di liga Champion 2017-2018, hal ini diperoleh dari jaringan TPNPT yang menunjukan bahwa banyak pemain yang berasal dari France, meskipun jaringan LTNTL menunjukan Negara England adalah negara yang paling berpengaruh, tetapi hal tersebut didasarkan pada tim, kenyataannya terdapat pemain yang berasal dari Negara France pada tim-tim di liga England. Selanjutnya, pemain yang paling berpengaruh adalah Mohamad Salah, pemain ini merupakan penyerang sayap (RW) dalam tim Liverpool, diketahui Liverpool adalah tim dengan juara

kedua. Meskipun kenyataannya Christiano Ronaldo adalah pemain terbaik versi liga Champion, Christiano Ronaldo menjadi pemain terbaik berdasarkan jumlah gol terbanyak yaitu 15 gol, tetapi gol-gol ini tidak tercipta di banyak pertandingan (hanya beberapa pertandingan dia mencetak gol banyak), sedangkan Mohamad Salah dapat menjadi pemain paling berpengaruh versi jaringan heterogen dalam studi ini karena sumbangan gol Mohamad Salah pada setiap pertandingan (jumlah tim yang dibobol oleh Mohamad Salah lebih banyak dibandingkan Christiano Ronaldo).

Selain itu *node-node* penting ini menjelaskan pengaruh prestasi pemain dan tim yang dijawab oleh hasil analisis dari jaringan LTFTL dan PoPSPPo. Peringkat *node* terpenting pada jaringan LTFTL adalah formasi tim dengan susunan 4-3-3, 4-2-3-1 dan 4-4-2. Formasi tersebut dapat dijadikan rujukan karena terbukti beberapa diantaranya dimiliki oleh tim-tim terbaik, antara lain Real Madrid dengan formasi 4-4-3, Liverpool dan Bayern Munich dengan formasi 4-3-3, dan tim 16 besar yang rata-rata menggunakan formasi 4-2-3-1. Sedangkan untuk pemain, peringkat *node* terpenting pada jaringan PoPSPPo merupakan rujukan untuk *Skill* pemain, *Skill* tersebut antara lain speed, dribbling, interception. *Skill-Skill* tersebut terbukti dimiliki oleh pemain dibanyak posisi, hal ini bisa dilihat pada jaringan TPPoPT. Selanjutnya, pembentukan komunitas yang representatif dalam jaringan liga Champion 2017-2018 antara lain komunitas dalam jaringan TPoPT dan PoPSPPo. Komunitas posisi pemain berdasarkan jaringan TPoPT menunjukkan posisi pemain dapat mempengaruhi pola permainan dalam suatu tim. Sedangkan komunitas *Skill* pemain berdasarkan jaringan PoPSPPo menunjukkan *Skill* pemain dapat mempengaruhi posisi pemain.

Hasil akhir dari studi ini menjawab interpretasi analisis jaringan berupa informasi tentang peran pemain, tim, negara, lokasi, formasi, dan skill yang mempengaruhi performa UEFA Champions League.

Limitasi dan studi lanjutan

Analisis informasi jaringan merupakan area penelitian yang dapat memberikan wawasan berharga yang diungkapkan melalui struktur jaringan dan hubungannya. Dalam beberapa tahun terakhir telah ada peningkatan minat dalam menganalisis struktur jaringan, termasuk bidang ilmu olahraga. Dalam studi ini, analisis informasi jaringan homogen dan heterogen pada Liga Champions UEFA dapat memberikan perspektif berharga mengenai informasi dan faktor-faktor yang berkontribusi pada Liga Champion UEFA 2017-2018. Namun, ada beberapa limitas dan rekomendasi yang harus dipertimbangan saat melakukan studi lanjut seperti penggunaan sumber data yang beragam, penerapan atau pengembangan teknik data analisis dan pembentukan skema jaringan yang lebih luas. Lebih lanjut, penulis mengharapakan studi lanjutan yang dapat diterapkan diberbagai macam bidang lainnya.

Daftar Pustaka

- Angles, R., Prat-Pérez, A., Dominguez-Sal, D., & Larriba-Pey, J. L. (2013, June). Benchmarking database systems for social network applications. In *First International Workshop on Graph Data Management Experiences and Systems* (pp. 1-7).
- Boden, B., Ester, M., & Seidl, T. (2014). Density-based subspace clustering in heterogeneous networks. In *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: European Conference, ECML PKDD 2014, Nancy, France, September 15-19, 2014. Proceedings, Part I* 14 (pp. 149-164). Springer Berlin Heidelberg.
- Chunaev, P. (2020). *Community detection in node-attributed social networks: a survey*. *Computer Science Review*, 37, 100286.
- Hu, B., Fang, Y., & Shi, C. (2019). Adversarial learning on *Heterogeneous Information Networks*. In *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery & Data Mining* (pp. 120-129).
- Huang, H., Shi, R., Zhou, W., Wang, X., Jin, H., & Fu, X. (2021). Temporal *Heterogeneous Information Network* Embedding. In *IJCAI* (pp. 1470-1476).
- Javed, M. A., Younis, M. S., Latif, S., Qadir, J., & Baig, A. (2018). *Community detection in networks: A multidisciplinary review*. *Journal of Network and Computer Applications*, 108, 87-111.

- Jin, D., Yu, Z., Jiao, P., Pan, S., He, D., Wu, J., & Zhang, W. (2021). A survey of *community detection* approaches: From statistical modeling to deep learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*.
- Kong, X., Shi, Y., Yu, S., Liu, J., & Xia, F. (2019). Academic social networks: Modeling, analysis, mining and applications. *Journal of Network and Computer Applications*, 132, 86-103.
- Luo, C., Pang, W., & Wang, Z. (2014). Semi-supervised clustering on *Heterogeneous Information Networks*. In *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining: 18th Pacific-Asia Conference, PAKDD 2014, Tainan, Taiwan, May 13-16, 2014. Proceedings, Part II* 18 (pp. 548-559). Springer International Publishing.
- Qiu, C., Chen, W., Wang, T., & Lei, K. (2015). Overlapping *community detection* in directed heterogeneous social network. In *Web-Age Information Management: 16th International Conference, WAIM 2015, Qingdao, China, June 8-10, 2015. Proceedings* 16 (pp. 490-493). Springer International Publishing.
- Saxena, A., & Iyengar, S. (2020). Centrality measures in complex networks: A survey. *arXiv preprint arXiv:2011.07190*.
- Serrano, D. H., & Gómez, D. S. (2020). Centrality measures in simplicial complexes: Applications of topological data analysis to network science. *Applied Mathematics and Computation*, 382, 125331.
- Shi, C., Hu, B., Zhao, W. X., & Philip, S. Y. (2018). *Heterogeneous Information Network* embedding for recommendation. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 31(2), 357-370.
- Shi, C., Li, Y., Zhang, J., Sun, Y., & Philip, S. Y. (2016). A survey of *Heterogeneous Information Network* analysis. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 29(1), 17-37.
- Shi, D., Lü, L., & Chen, G. (2019). Totally homogeneous networks. *National science review*, 6(5), 962-969.
- Singh, R. R. (2022). Centrality measures: a tool to identify key actors in social networks. *Principles of Social Networking: The New Horizon and Emerging Challenges*, 1-27.
- Tsiotas, D., & Polyzos, S. (2015). Introducing a new centrality measure from the transportation network analysis in Greece. *Annals of Operations Research*, 227, 93-117.
- Zhang, J., Fei, J., Song, X., & Feng, J. (2021). An improved Louvain algorithm for *community detection*. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 1-14.