



Fisika Sosial: Pendekatan Fisika Kuantum dalam Memahami Pola Pertemanan Sosial

Alpi Mahisha Nugraha*, Nurullaeli
Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Indraprasta PGRI Jakarta
* E-mail: alpi.mahisha@gmail.com

Abstract

This study models the dynamics of social friendship networks using an analogy inspired by quantum physics, particularly the behavior of bosonic and fermionic particles. In the social system, each individual is represented as an agent whose “mood” and interaction preferences evolve over time. Boson-like agents are characterized by their tendency to form large social clusters and easily adapt to others, in contrast to fermion-like agents, who interact more selectively and maintain greater interpersonal distance. The model is further extended by incorporating a “pairing” mechanism, in which two fermion agents can form a stable pair that effectively behaves like a boson, analogous to Cooper pairing in quantum systems. Through computational simulations based on simple interaction rules, patterns such as group formation, social isolation, and individual integration can be quantitatively examined; in this work, the simulation is applied to a classroom-scale friendship environment. The results show that variations in interaction parameters, such as mood sensitivity and the threshold for pairing formation, strongly influence the emerging social structure. This approach offers an alternative perspective for understanding social relationships through a framework borrowed from physics, particularly quantum physics.

Keywords: Social Physics, friendship, Boson, Fermion.

Abstrak

Penelitian ini memodelkan dinamika pertemanan sosial melalui pendekatan analogi fisika kuantum, khususnya dengan melihat sifat dari partikel boson dan fermion. Dalam sistem sosial, setiap individu direpresentasikan sebagai agen dengan “mood” dan preferensi interaksi yang berkembang seiring waktu. Agen bertipe boson dianalogikan memiliki kecenderungan untuk membentuk kluster sosial yang besar, dimana agen memiliki kecenderungan mudah beradaptasi agen lainnya, berbeda dengan agen bertipe fermion yang lebih selektif dan cenderung menjaga jarak antarindividu. Model ini diperluas dengan memasukkan mekanisme “pairing”, yaitu kondisi ketika dua agen fermion dapat membentuk pasangan stabil yang berperilaku efektif seperti boson sejalan dengan fenomena *Cooper pairing* dalam fisika kuantum. Melalui simulasi komputasi berbasis aturan sederhana, pola-pola seperti pembentukan kelompok, isolasi sosial, dan dinamika integrasi individu dapat ditinjau secara kuantitatif, pada penelitian ini simulasi diterapkan pada lingkungan sosial dalam skala pertemanan di dalam kelas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi parameter interaksi, seperti sensitivitas terhadap mood dan ambang pembentukan pasangan, secara signifikan memengaruhi struktur sosial akhir yang muncul. Pendekatan ini membuka perspektif alternatif dalam memahami relasi sosial menggunakan kerangka fisika khususnya fisika kuantum.

Kata kunci: Fisika Sosial, pertemanan, boson, fermion.

PENDAHULUAN

Fenomena sosial merupakan bentuk interaksi antar individu yang berlangsung secara dinamis dan kompleks. Melihat dinamika tersebut menggunakan sudut pandang fisika, terutama fisika kuantum, memberikan cara pandang alternatif yang menarik dan belum banyak dieksplorasi. Perspektif

ini menjadi menarik karena konsep-konsep dalam fisika kuantum, seperti sifat partikel dan mekanisme interaksi, menunjukkan analogi yang dapat membantu memahami bagaimana hubungan sosial terbentuk, berubah, dan terstruktur dalam kelompok manusia.

Penelitian ini mengembangkan pemodelan atau prespektif tersebut dengan membangun model sosial berbasis analogi antara hubungan pertemanan dengan sifat partikel boson dan fermion. Boson dikenal memiliki kecenderungan untuk berkelompok dalam keadaan yang sama dan mengikuti sebaran Bose-Einstein, sedangkan fermion mengikuti prinsip eksklusi yang membuatnya lebih selektif dalam kedekatan dan mengikuti sebaran Fermi-Dirac (Kaniadakis & Quarati, 1994). Secara garis besarnya partikel boson lebih suka untuk berkumpul sedangkan fermion lebih suka untuk menyendiri. Pada penelitian ini, pemetaan karakteristik ini ke dalam peran sosial individu, bertujuan untuk melihat apakah analogi sederhana ini mampu merepresentasikan kecenderungan nyata dalam dinamika pertemanan, seperti pembentukan kelompok, isolasi, maupun interaksi selektif. Pendekatan ini diperkaya dengan mekanisme pairing, menyerupai pasangan Cooper, untuk melihat apakah interaksi yang awalnya “repulsif” dapat menghasilkan hubungan stabil sepanjang perjalanan waktu (Nugraha, 2017).

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengevaluasi sejauh mana model berbasis analogi kuantum ini dapat menggambarkan fenomena sosial secara efektif. Fokusnya tidak hanya pada akurasi pola yang muncul, tetapi juga pada nilai heuristiknya, apakah model ini dapat menjadi alat pemahaman konseptual yang berguna dalam menginterpretasi fenomena pertemanan di lingkungan kecil seperti interaksi dalam kelas. Dengan menggunakan simulasi komputasi, efektivitas model diukur melalui pola evolusi hubungan dan struktur jaringan sosial yang terbentuk.

Secara teoretik, pendekatan ini sejalan dengan upaya lebih luas dalam fisika sosial, mengembangkan kerangka dinamis untuk fenomena sosial dengan inspirasi langsung dari mekanika statistik (Weidlich, 1991). Selain itu, pendekatan fisika sosial seperti ini menekankan bahwa pola baik di alam maupun dalam sistem sosial berkembang mengikuti prinsip desain yang meminimalkan hambatan dalam aliran interaksi, suatu ide yang relevan untuk memahami pembentukan kelompok sosial (Bejan & Lorente, 2013). Keterkaitan antara fisika dan budaya juga tercermin dalam pendekatan etnofisika, yang mengkaji bagaimana masyarakat membangun pengetahuan melalui pola interaksi dan observasi terhadap lingkungan fisik (Astuti & Bhakti, 2021). Analisis pendidikan fisika terhadap budaya kearifan lokal. Secara historis, upaya menghubungkan fisika dan masyarakat juga muncul dalam menunjukkan bahwa konsep fisika telah lama digunakan untuk menjelaskan dinamika kolektif (Robert E. Park, 1940). Oleh karena itu, penelitian ini menempatkan diri dalam tradisi lintas disiplin tersebut, sekaligus menawarkan formulasi analogi baru yang lebih dekat dengan konsep fisika modern.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan pemodelan dinamika pertemanan sosial dengan memanfaatkan analogi konsep dasar dalam fisika kuantum khususnya perilaku partikel elementer boson dan fermion, kemudian dengan menggunakan pendekatan matematis untuk men-simulasikan pemodelan tersebut berbasis MATLAB. Setiap individu dalam sistem intraksi direpresentasikan sebagai agen dengan tipe partikel boson atau fermion, dengan kecenderungan berinteraksi atau mood yang berubah seiring waktu. Struktur jaringan pertemanan dibangun berdasarkan probabilitas interaksi antartipe agen, sementara evolusi dinamika sosial dimodelkan melalui iterasi aturan lokal yang menggambarkan pengaruh lingkungan sosial, kecocokan mood, serta kemungkinan terjadinya mekanisme pairing pada agen bertipe fermion.



Gambar 1. Alur pemodelan yang digunakan

Tahapan dari pemodelan ini dapat dilihat pada Gambar 1. Pada tahap 1) Representasi Agen, pada penelitian ini ruang lingkup interaksi terdiri dari 32 orang yang menggambarkan kondisi dalam

suatu kelas belajar. Setiap agen akan memiliki sifat boson ($\text{type}=1$) yang cenderung mudah berinteraksi dan membentuk kelompok besar atau fermion ($\text{type}=0$) yang lebih selektif dan cenderung menjaga jarak. Pada tahap 2) Penentuan Mood, setiap agen memiliki mood yang merupakan fungsi dari waktu $s_i(t)$, mood ini yang menentukan keinginan untuk berinteraksi dengan tetangga atau agen lainnya. Pada tahap 3) Jaringan Pertemanan, pembentukan matriks pertemanan A_{ij} yang berisikan kemungkinan atau probabilitas interaksi agen yakni probabilitas boson-boson (P_{BB}), probabilitas boson-fermion (P_{BF}) dan probabilitas fermion-fermion (P_{FF}). Pada kondisi awal, simulasi di set dengan kondisi $P_{BB} = 0.35$, $P_{BF} = 0.20$, dan $P_{FF} = 0.08$, yang menunjukkan jika interaksi fermion-fermion jarang terjadi.

Pada tahap 4) Dinamika Mood, setiap agen melihat mood dari tetangga yang terhubung langsung dengan persamaan:

$$h_i(t) = \sum_{j: A_{ij}=1} s_j(t)$$

jika tidak ada tetangga, mood tidak akan berubah, namun jika ada tetangga:

$$s_i(t+1) = \begin{cases} \text{sign}(h_i), & \text{dengan probabilitas } (1 - \eta) \\ -s_i(t), & \text{dengan probabilitas } \eta \end{cases}$$

parameter η adalah noise sosial yang diset bernilai 0.10, yang menggambarkan bahwa 10% waktu seseorang berubah moodnya namun dipengaruhi faktor internal alih-alih eksternal. Untuk menggambarkan kondisi *pairing* partikel dimana sepasang fermion jika berinteraksi akan cenderung bersifat seperti boson. Pada penelitian ini, di tahap 5) Probabilitas Fermion yang Dinamis, untuk fermion yang mood-nya cocok, probabilitas pertemanannya akan meningkat dengan persamaan:

$$P_{FF}^{eff} = P_{FF} + \lambda C_{ij}(P_{BB} - P_{FF})$$

dengan $\lambda = 0.01$ berupa faktor penguat dan C_{ij} adalah fungsi dimana bernilai 1 untuk Fermion-fermion dan bernilai 0 untuk interaksi agen lainnya. Pada tahap 6) Tahap Akhir, simulasi menghasilkan output berupa grafik struktur pertemanan dan nilai mood rata-rata kelas fungsi dari waktu. Melalui simulasi ini, pola-pola sosial yang muncul dianalisis secara kuantitatif untuk memahami bagaimana konsep-konsep fisika dapat beranalogi dalam mempelajari hubungan sosial dalam skala kelas. Meskipun secara kuantum fermion memang berbeda dengan boson (Nurhadi, 2020), namun pandangan sosial tidak harus benar-benar mengikuti keadaan tersebut.

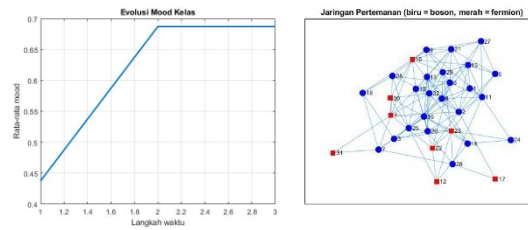
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kajian mengenai hubungan antara perilaku manusia dan konsep fisika telah berkembang dalam berbagai arah. Penelitian tentang sikap ilmiah, misalnya, telah menunjukkan bahwa ketertarikan seseorang terhadap fisika dapat dibentuk melalui pengalaman dan pendekatan pembelajaran yang tepat (Rahayu & Desma Romadona, 2020). Sejalan dengan itu, perkembangan teknologi turut mendorong munculnya berbagai inovasi dalam pembelajaran fisika, termasuk penggunaan simulasi interaktif sebagai sarana penyampaian dan diskusi konsep-konsep fisika secara lebih interaktif (Perkins et al., 2006). Di sisi lain, pemahaman mengenai fenomena sosial juga pernah dianalisis menggunakan kerangka fisika melalui pemodelan kondisi acak dan interaksi sederhana untuk melihat pola makro yang muncul dari perilaku individual (Stauffer, 2002). Fisika memang merupakan ilmu pengetahuan yang sulit namun menarik untuk dikembangkan karena dapat menjadi alternatif lain dalam melihat suatu fenomena mulai dari alam, ekonomi, bahkan sosial (Angell et al., 2004).

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa kasus dengan kondisi awal berbeda untuk melihat keefektifan pemodelan terhadap perilaku sosial dalam kelas yang terdiri dari 32 orang. Kasus-kasus tersebut sebagai berikut:

- Kasus 1 : Jumlah agen boson dan fermion ditentukan namun urutannya random dengan kondisi agen boson > fermion.
- Kasus 2 : Jumlah dan urutan agen boson dan fermion ditentukan dan akan divariasikan pada jumlah waktu interaksi, untuk melihat sensitifitas perilaku agen terhadap waktu.
- Kasus 3 : Kondisi awal yang sama dengan Kasus 1, namun memiliki faktor penguat kecenderungan fermion berubah menjadi boson yang lebih besar yakni $\lambda = 0.5$ yang artinya fermion lebih mudah untuk menjadi boson.

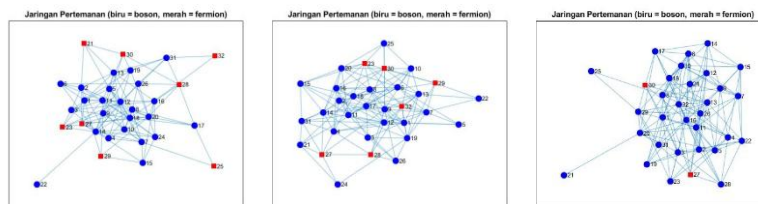
- Kasus 4 : Kondisi seperti pada Kasus 1, namun jumlah boson < fermion.



Gambar 2. Simulasi Kasus 1, gambar kiri adalah evolusi rata-rata mood kelas dan gambar kanan adalah struktur pertemanan dengan boson berwarna biru dan fermion berwarna merah

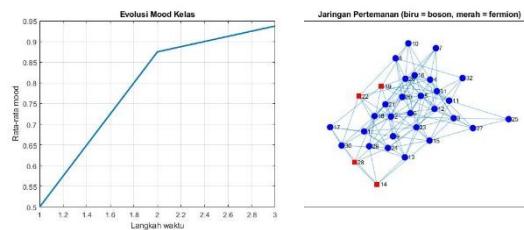
Pada Kasus 1, jumlah agen boson 20 dan 12 fermion dengan waktu interaksi 3. Artinya dari 32 orang di dalam kelas terdapat 20 orang yang cenderung untuk berkelompok dan 12 orang yang lebih suka menjaga interaksinya, setelah 3 interaksi. Kondisi akhir dari kelas adalah jumlah fermion yang menjadi 8 dan bertambahnya jumlah boson menjadi 24 agen. Terlihat juga rerata dari mood kelas semakin meningkat dan bernilai tetap pada interaksi 2 ke interaksi 3. Namun pada penelitian ini karena mood dari tiap agen di set bernilai random sehingga hasil yang lain akan mungkin ditunjukkan untuk set input yang sama. Karena kita tidak bisa memastikan secara pasti nilai mood setiap agennya.

Gambar 2 menunjukkan simulasi untuk Kasus 2, dengan jumlah agen boson 20 dan 12 fermion dengan waktu iteraksi 2 (kiri), 3 (tengah), dan 4 (kanan). Namun pada set awal di Kasus 2, sesama boson awalnya berkumpul dari agen 1-20, sedangkan fermion dibuat dari agen 21-32. Untuk melihat perubahan tiap agen di setiap interaksi, terlihat pada interaksi ke-2, fermion berjumlah 8 agen, kemudian beberapa agen cenderung menjadi boson dan masuk ke dalam kelompok sehingga fermion menjadi 6 pada interaksi ke-3 dan berkurang lagi menjadi 2 pada interaksi ke-4. Hal ini menunjukkan semakin banyak interaksi yang terjadi maka kemungkinan fermion menjadi boson semakin besar.



Gambar 3. Simulasi Kasus 2, kondisi 2 interaksi (kiri), 3 interaksi (tengah), dan 4 interaksi (kanan)

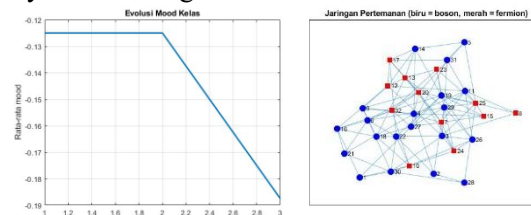
Kasus 3, dengan jumlah agen boson 20 dan 12 fermion dengan waktu interaksi 3 dan $\lambda = 0.5$ yang artinya fermion lebih mudah untuk menjadi boson. Dapat kita bandingkan dengan Gambar 1 dengan Gambar 3 untuk melihat pengaruh dari λ , terlihat nilai rerata mood kelas terus meningkat meskipun pada Gambar 1 nilai rerata mood tetap sedangkan ketika nilai λ meningkat, nilai rerata mood kelas pun ikut meningkat yang mengartikan agen cenderung lebih mudah berinteraksi. Selain perbandingan nilai rerata mood kelas, pada struktur pertemanan yang terjadi ketika λ meningkat tentu saja meningkatkan jumlah fermion yang bertransisi menjadi boson dengan jumlah iteraksi yang sama.



Gambar 4. Simulasi Kasus 3

Gambar 5 merupakan simulasi dari Kasus 4, dengan jumlah agen boson 12 dan 20 fermion dengan waktu interaksi 3, kondisi dimana jumlah fermion lebih besar dibanding jumlah boson. Perbandingan yang menarik jika kita bandingkan Kasus 1 dengan Kasus 4, menariknya pada Gambar

5, nilai rerata mood kelas mengalami penurunan pada interaksi ke-3 dan jumlah fermion yang bertransisi menjadi boson menjadi lebih sedikit. Artinya kondisi lingkungan dimana fermion lebih banyak daripada boson membuat secara komulatif kelas menjadi kurang solid meskipun terdapat interaksi namun tidak sebanyak dibandingkan Kasus 1.



Gambar 5. Simulasi Kasus 4

PENUTUP

Pemodelan interaksi boson-fermion memberikan gambaran menarik tentang dinamika sosial dengan menafsirkan perilaku individu dan kelompok melalui analogi kuantum, namun pendekatan ini belum sepenuhnya menangkap kompleksitas interaksi manusia. Diperlukan pengembangan lebih lanjut, terutama dengan memasukkan mode interaksi tambahan seperti anti-pairing untuk merepresentasikan hubungan yang saling menolak, kemungkinan transisi peran antara boson dan fermion ketika individu berganti pola perilaku dalam konteks sosial tertentu, serta penggunaan variabel mood yang kontinu agar dinamika emosi tidak direduksi menjadi kategori diskrit. Dengan memperluas struktur matematis dan memperkaya model dinamika energinya, pemetaan perilaku sosial dapat menjadi lebih realistis, adaptif, dan mampu menjelaskan fenomena sosial yang lebih beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Angell, C., Guttersrud, Ø., Henriksen, E. K., & Isnes, A. (2004). Physics: Frightful, but fun - Pupils' and teachers' views of physics and physics teaching. In *Science Education* (Vol. 88, Issue 5, pp. 683–706). <https://doi.org/10.1002/sci.10141>
- Astuti, I. A. D., & Bhakti, Y. B. (2021, June). Kajian Etnofisika Pada Tari Piring Sebagai Media Pembelajaran Fisika. *Sinasis : Prosiding Seminar Nasional Sains*.
- Bejan, A., & Lorente, S. (2013). Constructal law of design and evolution: Physics, biology, technology, and society. In *Journal of Applied Physics* (Vol. 113, Issue 15). <https://doi.org/10.1063/1.4798429>
- Kaniadakis, G., & Quarantini, P. (1994). *Classical model of bosons and fermions* (Vol. 49, Issue 6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1103/PhysRevE.49.5103>
- Nugraha, A. M. (2017). *Efek Pairing pada Isotop Sn (N > 82) dalam Teori BCS Menggunakan Sembilan Tingkat*. Faktor Exacta 10(2), 101–110.
- Nurhadi. (2020). *Model Sederhana Supersimetri*. Eduproximia : Jurnal Ilmiah Pendidikan IPA. <https://doi.org/https://doi.org/10.29100/eduproximia.v2i1.1492>
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., Wieman, C., & LeMaster, R. (2006). PhET: Interactive Simulations for Teaching and Learning Physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18–23. <https://doi.org/10.1119/1.2150754>
- Rahayu, A., & Desma Romadona, D. (2020). Deskripsi Implikasi Sosial dari Fisika, Sikap Terhadap Penyelidikan dalam Fisika dan Adopsi dari Sikap Ilmiah. In *Journal of Physics Education (SJPE)* (Vol. 1, Issue 1).
- Robert E. Park. (1940). Physics and Society. *The Canadian Journal of Economics and Political Science*, VI, 135–152. <https://www.jstor.org/stable/137200?origin=JSTOR-pdf>
- Stauffer, D. (2002). *Sociophysics Simulations*. www.ais.fhg.de/
- Weidlich, W. (1991). Physics and Social Science - The Approach of Synergetics. In *PHYSICS REPORTS (Review Section of Physics Letters)* (Vol. 204, Issue 1). [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0370-1573\(91\)90024-G](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0370-1573(91)90024-G)