

# Pertemuan 12

## Sistem Multi-Agen

### A. Konsep Agen dan Lingkungan

#### 1. Definisi Agen (Agent)

Dalam konteks kecerdasan buatan modern, konsep *agen* merujuk pada sebuah entitas otonom yang memiliki kemampuan untuk:

- Mengamati (*perceiving*) kondisi lingkungan melalui sensor atau mekanisme input lainnya. Agen harus dapat menangkap informasi relevan dari lingkungan, baik yang bersifat fisik (misalnya suhu, cahaya, posisi) maupun digital (misalnya data harga, status server, pesan dari agen lain). Kemampuan observasi ini menentukan kualitas keputusan yang akan diambil agen.
- Memproses informasi dan menalar (*reasoning*) berdasarkan pengetahuan, aturan, atau model yang dimilikinya. Agen harus mampu memahami situasi yang diamati, menginterpretasikan konteks, dan memutuskan tindakan terbaik. Proses ini dapat terjadi melalui pendekatan sederhana seperti aturan IF–THEN, atau pendekatan kompleks seperti pembelajaran mesin, logika fuzzy, hingga optimisasi.
- Mengambil keputusan (*decision-making*) secara mandiri tanpa intervensi manusia secara langsung. Otonomi ini memungkinkan agen bekerja secara fleksibel dalam lingkungan yang dinamis dan tidak sepenuhnya dapat diprediksi. Setiap agen memiliki mekanisme untuk mengevaluasi berbagai alternatif tindakan sebelum memilih yang paling menguntungkan atau paling sesuai dengan tujuannya.
- Melakukan aksi (*acting*) untuk memengaruhi lingkungan melalui aktuator atau instruksi. Aksi yang dilakukan agen dapat berupa tindakan fisik (menggerakkan robot, mengaktifkan pompa air irigasi) maupun tindakan digital (mengirim pesan ke agen lain, menawar harga, memperbarui data).



- Memiliki tujuan (*goal-directed behaviour*) dan berorientasi pada pencapaian target tertentu. Agen tidak hanya mengeksekusi perintah, tetapi memiliki preferensi atau fungsi utilitas yang mengarahkan perilakunya. Dengan demikian, agen dapat merencanakan langkah-langkah strategis untuk mencapai hasil optimal.
- Beradaptasi terhadap perubahan lingkungan dengan memodifikasi strategi berdasarkan pengalaman sebelumnya. Agen yang adaptif mampu meningkatkan performanya melalui pembelajaran, sehingga semakin lama semakin efektif dalam menghadapi situasi baru atau kompleks.
- Berinteraksi dengan agen lain melalui mekanisme komunikasi formal. Interaksi ini memungkinkan terbentuknya koordinasi, kolaborasi, negosiasi, maupun kompetisi dalam sistem multi-agen. Dengan komunikasi, agen dapat berbagi informasi, menyepakati tindakan bersama, atau bahkan berkompetisi untuk mencapai tujuan masing-masing.

#### Sifat-Sifat Agen yang Baik

- Otonom → dapat bertindak tanpa campur tangan manusia.
- Reaktif → mampu merespons perubahan lingkungan secara cepat.
- Proaktif → bukan hanya merespons, tetapi juga mengambil inisiatif.
- Sociable → mampu berkomunikasi dan bekerja sama dengan agen lain.
- Adaptif → mempelajari pola lingkungan dan memperbaiki strategi.
- Mobile (*opsional*) → dapat berpindah lintas lokasi (misal, agen jaringan).

## 2. Jenis-Jenis Agen dalam MAS

### a. Simple Reflex Agent

Bertindak berdasarkan kondisi saat ini tanpa memori.

Contoh: robot mengikuti garis.

### b. Model-Based Reflex Agent

Memiliki representasi internal tentang keadaan dunia.



c. Goal-Based Agent

Mengambil keputusan berdasarkan pencapaian tujuan tertentu.

Contoh: agen navigasi mencari rute terpendek.

d. Utility-Based Agent

Mengevaluasi kepuasan/keuntungan (utility) dari setiap aksi.

Contoh: agen penentu harga optimal di pasar.

e. Learning Agent

Meningkatkan performa secara bertahap berdasarkan pengalaman.

Contoh: agen cerdas dalam permainan RTS.

### 3. Konsep Lingkungan (Environment)

Lingkungan adalah *dunia* tempat agen beroperasi dan berinteraksi.

Dalam MAS, lingkungan memengaruhi keputusan agen dan menentukan kompleksitas sistem.

#### Karakteristik Lingkungan

Karakteristik	Penjelasan
Accessible vs Inaccessible	Lingkungan mudah diobservasi / tidak dapat diamati sepenuhnya.
Deterministic vs Stochastic	Aksi menghasilkan hasil yang pasti / hasilnya probabilistik.
Static vs Dynamic	Lingkungan tidak berubah / berubah selama agen membuat keputusan.
Discrete vs Continuous	Nilai keadaan lingkungan diskrit / kontinu.
Single-agent vs Multi-agent	Agen bekerja sendiri / berinteraksi dengan agen lain.

### 4. Hubungan Agen dan Lingkungan

Interaksi agen dengan lingkungan mengikuti siklus:

Perceive (melihat) → Decide (memutuskan) → Act (bertindak) → Perceive ulang

Semakin kompleks lingkungannya, semakin pintar mekanisme agen harus dibangun.

Dalam MAS, agen bukan hanya berinteraksi dengan lingkungan, tetapi **lingkungan**



turut dipengaruhi oleh aksi agen lain, sehingga muncul dinamika kolaborasi, kompetisi, dan koordinasi.

## 5. Contoh Interaksi Agen–Lingkungan

### a. Agen Pertanian Cerdas

- Lingkungan: kondisi tanah, cuaca, kelembaban, fase pertumbuhan tanaman.
- Agen: agen irigasi, agen pemupukan, agen rekomendasi tanaman.
- Aksi: mengaktifkan irigasi, mengubah jadwal tanam, memberi notifikasi ke petani.

### b. Agen Pasar (Market Simulation)

- Lingkungan: permintaan, penawaran, harga, stok barang.
- Agen: pembeli, penjual, distributor.
- Aksi: menentukan harga, membeli barang, menawar, memprediksi kebutuhan.

Lingkungan MAS biasanya bersifat **dinamis, tidak deterministik, dan multi-agen**—hal ini membuat sistem lebih realistis untuk simulasi dunia nyata.

## 6. Keuntungan Menggunakan Sistem Multi-Agen

- **Skalabilitas tinggi** → mudah menambah agen baru tanpa mengubah sistem utama.
- **Robustness** → kegagalan satu agen tidak menghentikan seluruh sistem.
- **Distribusi tugas** → pekerjaan kompleks dibagi menjadi tugas kecil.
- **Desentralisasi** → tidak bergantung pada satu pusat kontrol.
- **Representasi realistis** → cocok untuk simulasi ekonomi, sosial, transportasi, pertanian, dan ekosistem.

## 7. Tantangan dalam Agen dan Lingkungan

- Konflik antar agen (kompetisi).



- Kebutuhan mekanisme komunikasi standar.
- Perbedaan tujuan agen.
- Koordinasi dan konsensus dalam kondisi dinamis.
- Evaluasi performa sistem secara keseluruhan.

Konsep agen dan lingkungan merupakan dasar dari Sistem Multi-Agen. Agen berfungsi sebagai entitas otonom yang mampu mengamati, mengambil keputusan, dan melakukan aksi dalam lingkungan tertentu. Sementara lingkungan menyediakan konteks dan aturan main bagi agen. Pemahaman hubungan keduanya sangat penting untuk merancang simulasi kompleks seperti pertanian cerdas, pasar digital, urban traffic, hingga ekosistem sosial.

## B. Komunikasi Antar Agen (MAS Communication)

Komunikasi antar agen merupakan aspek fundamental dalam Sistem Multi-Agen (Multi-Agent Systems/MAS). Agar agen dapat bekerja sama, bernegosiasi, atau berkompetisi, mereka membutuhkan mekanisme komunikasi yang terstruktur dan dapat dipahami bersama. Tanpa komunikasi, agen hanya bertindak secara individual dan tidak dapat mencapai tujuan yang membutuhkan koordinasi.

### 1. Tujuan Komunikasi Antar Agen

Komunikasi dilakukan untuk memungkinkan agen:

- Berbagi informasi  
Contoh: agen cuaca memberitahu agen irigasi tentang tingkat curah hujan.
- Koordinasi tugas  
Contoh: agen panen dan agen transportasi menyusun jadwal agar proses distribusi lebih efisien.
- Negosiasi dan pengambilan keputusan kolektif  
Contoh: agen pembeli dan agen penjual mencari harga yang menguntungkan.



- Membangun pemahaman bersama (*shared knowledge*)  
Penting dalam lingkungan dinamis agar semua agen memiliki persepsi yang konsisten terhadap keadaan global.

## 2. Elemen Dasar Komunikasi

Komunikasi agen umumnya melibatkan tiga komponen utama:

### a. Sender (pengirim)

Agen yang mengirimkan pesan merupakan pihak yang memulai proses komunikasi dengan menyampaikan informasi, permintaan, atau instruksi kepada agen lain sebagai respon terhadap kondisi lingkungan atau tujuan tertentu.

### b. Receiver (penerima)

Agen yang menerima dan memproses pesan adalah entitas yang bertanggung jawab untuk menangkap pesan yang dikirimkan oleh agen lain, menginterpretasikan isinya, kemudian menentukan respons atau tindakan yang sesuai berdasarkan tujuan dan aturan internal yang dimilikinya.

### c. Message (pesan)

Informasi yang dikirim, biasanya berisi:

- jenis pesan
- data yang dibagikan
- tujuan
- instruksi atau permintaan tindakan

## 3. Bahasa Komunikasi Agen

Untuk dapat berkomunikasi secara konsisten, agen membutuhkan suatu bahasa standar yang menetapkan aturan tentang bagaimana pesan dibentuk, dikirim, ditafsirkan, dan ditindaklanjuti, sehingga setiap agen dapat memahami maksud pesan dengan cara yang seragam meskipun memiliki desain internal yang berbeda. Dua bahasa yang paling populer dalam MAS adalah:



#### a. KQML (Knowledge Query and Manipulation Language)

Digunakan untuk berkomunikasi tentang pengetahuan, yaitu menyampaikan informasi, fakta, keyakinan, maupun struktur pengetahuan antar agen sehingga setiap agen dapat membangun pemahaman yang sama terhadap keadaan lingkungan dan konteks tugas.

Memiliki *performative* seperti:

- tell → mengirim informasi
- ask → meminta informasi
- achieve → meminta agen melakukan suatu aksi

#### b. FIPA ACL (Agent Communication Language)

Merupakan standar internasional yang dikembangkan oleh FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents), yaitu sebuah organisasi yang menetapkan protokol, spesifikasi, dan pedoman teknis untuk memastikan interoperabilitas, konsistensi, dan efektivitas komunikasi antar agen dalam sistem multi-agen.

Contoh *performative*:

- inform
- request
- agree
- refuse
- propose
- reject-proposal

ACL digunakan dalam banyak platform agen seperti JADE.

## 4. Model Komunikasi Antar Agen

MAS dapat menggunakan beberapa skema komunikasi:

#### a. Komunikasi Peer-to-Peer

Agen saling bertukar pesan secara langsung tanpa melalui perantara, sehingga komunikasi berlangsung secara peer-to-peer. Mekanisme ini memungkinkan



respons yang cepat dan koordinasi yang efisien antar agen, terutama dalam lingkungan yang membutuhkan interaksi real-time.

Contoh: agen pasar menawar harga secara langsung.

#### b. Broadcast / Multicast

Agen mengirim pesan ke banyak agen sekaligus melalui mekanisme broadcast atau multicast, sehingga informasi yang sama dapat disebarluaskan secara serentak kepada seluruh agen yang relevan. Pola ini sangat efektif digunakan dalam lingkungan dinamis yang membutuhkan penyebaran informasi secara cepat dan merata.

Contoh: agen cuaca mengumumkan prakiraan ke seluruh agen pertanian.

#### c. Komunikasi Terpusat (Mediator)

Agen tidak berkomunikasi secara langsung satu sama lain, melainkan memanfaatkan sebuah mediator sebagai perantara yang mengatur aliran pesan. Mediator bertugas menerima pesan dari satu agen, menginterpretasikannya, lalu meneruskannya ke agen yang relevan. Pendekatan ini meningkatkan struktur, kontrol, dan koordinasi dalam sistem multi-agen yang kompleks.

Contoh: sistem logistik menggunakan satu agen pusat untuk koordinasi.

#### d. Komunikasi Asinkron

Agen tidak perlu berada dalam keadaan aktif secara bersamaan karena komunikasi berlangsung secara asinkron. Pesan yang dikirim oleh suatu agen dapat disimpan dalam antrian atau buffer hingga agen penerima siap memprosesnya, sehingga interaksi tetap berlangsung meskipun agen bekerja pada waktu dan kecepatan yang berbeda.

## 5. Tipe-Tipe Pesan dalam MAS

Komunikasi antar agen dapat dibedakan berdasarkan tujuan pesan:



#### a. Informational Messages

Berisi informasi faktual yang menggambarkan keadaan lingkungan, data observasi, atau pengetahuan objektif yang diperlukan oleh agen lain untuk melakukan penalaran dan pengambilan keputusan secara akurat.

Contoh: “Kelembaban tanah = 30%.”

#### b. Request Messages

Meminta agen lain melakukan suatu tindakan tertentu sesuai kebutuhan sistem, baik berupa eksekusi tugas, perubahan perilaku, maupun pengambilan keputusan yang mendukung tujuan bersama dalam lingkungan multi-agen.

Contoh: “Aktifkan irigasi sekarang.”

#### c. Proposal Messages

Digunakan untuk mendukung proses negosiasi antar agen, di mana pesan berfungsi menyampaikan penawaran, permintaan, atau argumentasi yang memungkinkan agen-agen mencapai kesepakatan bersama dalam kondisi tujuan atau kepentingan yang saling berbeda.

Contoh: “Saya menawarkan harga 8.000/kg.”

#### d. Commitment Messages

Agen menyatakan persetujuan terhadap suatu rencana dengan mengirimkan pesan formal yang menandakan bahwa ia menerima proposal, instruksi, atau kesepakatan tertentu. Tindakan ini menunjukkan komitmen agen untuk melaksanakan peran atau tugas yang telah disepakati dalam konteks koordinasi multi-agen.

#### e. Alert Messages

Merupakan pesan peringatan yang dikirimkan untuk memberi tahu agen lain mengenai kondisi kritis atau situasi abnormal yang memerlukan perhatian segera. Pesan ini memungkinkan sistem multi-agen merespons secara cepat untuk mencegah kerusakan, kegagalan, atau penurunan kinerja.

Contoh: “Hama terdeteksi di area 3.”



## 6. Mekanisme Negosiasi Antar Agen

Komunikasi antar agen sering berfungsi sebagai mekanisme utama dalam proses negosiasi, terutama ketika agen-agen harus menyelaraskan kepentingan, tujuan, atau strategi mereka untuk mencapai kesepakatan bersama. Negosiasi ini biasanya muncul dalam situasi yang melibatkan keterbatasan sumber daya, penetapan tugas, atau pemecahan konflik antar agen.

- Pembagian tugas → siapa melakukan apa
- Alokasi sumber daya → air, energi, stok barang
- Penentuan harga → dalam sistem pasar
- Penyelesaian konflik → dua agen ingin menggunakan sumber daya yang sama

Metode negosiasi dalam sistem multi-agen dapat berupa berbagai pendekatan yang dirancang untuk memungkinkan agen mencapai kesepakatan, mulai dari mekanisme berbasis kontrak, model lelang, hingga strategi tawar-menawar. Setiap metode memiliki struktur interaksi, aturan keputusan, serta tingkat kompleksitas yang berbeda sesuai kebutuhan lingkungan dan tujuan agen.

- Contract Net Protocol (CNP)
- Auction / lelang
- Bargaining
- Voting & consensus (misalnya model Borda, Copeland)

## 7. Tantangan dalam Komunikasi MAS

- Interoperabilitas → agen harus memahami bahasa yang sama.
- Keterbatasan bandwidth → penting untuk sistem IoT, sensor jaringan, pertanian pintar.
- Keamanan pesan → risiko pesan dipalsukan atau dimodifikasi.
- Sinkronisasi → agen bekerja pada waktu berbeda; butuh koordinasi waktu.
- Konflik tujuan → agen memiliki preferensi sendiri; komunikasi harus menyelesaikan konflik.



## 8. Contoh Komunikasi dalam Sistem Agen Pertanian

Sebagai contoh, pada simulasi pertanian cerdas (*smart farming*), berbagai agen berinteraksi untuk mengoptimalkan proses budidaya. Setiap agen memiliki peran spesifik dalam memonitor kondisi lingkungan, mengelola sumber daya, serta mengambil keputusan operasional berdasarkan data terkini.

- Agen Sensor Tanah → "Moisture di area A = 20%."
- Agen Pengelola Irigasi → "Irigasi akan aktif 10 menit."
- Agen Prediksi Cuaca → "Curah hujan 0 mm hari ini."
- Agen Manajemen Tanaman → "Pada fase vegetatif, kebutuhan air meningkat."

Melalui komunikasi ini, sistem pertanian dapat mengambil keputusan otomatis, efisien, dan adaptif.

## 9. Contoh Komunikasi dalam Pasar Multi-Agen

Dalam pasar simulatif, sistem multi-agen digunakan untuk memodelkan interaksi antara berbagai pelaku ekonomi seperti agen pembeli, agen penjual, dan agen perantara. Melalui pertukaran pesan dan mekanisme negosiasi, setiap agen dapat menentukan strategi penawaran, permintaan, serta harga secara dinamis sesuai kondisi pasar.

- Agen Penjual: "Menawarkan harga 10.000."
- Agen Pembeli: "Saya tawar 8.000."
- Agen Mediator: "Harga kesepakatan = 9.000."

Simulasi seperti ini digunakan dalam ekonomi digital, e-commerce, dan penelitian pasar.

Komunikasi antar agen memungkinkan MAS bekerja sebagai suatu ekosistem cerdas. Dengan bahasa komunikasi standar, mekanisme negosiasi, dan struktur pesan yang jelas, agen dapat berkolaborasi dan mencapai tujuan kolektif. Kemampuan ini sangat penting dalam banyak aplikasi modern seperti pertanian pintar, robotika kolaboratif, e-commerce, simulasi lalu lintas, hingga manajemen energi berbasis IoT.



## C. Kolaborasi dan Kompetisi

Dalam sistem multi-agen (MAS), agen-agen tidak hanya bekerja secara individual, tetapi juga berinteraksi satu sama lain. Interaksi tersebut dapat berbentuk kolaborasi (bekerja bersama menuju tujuan bersama) atau kompetisi (bersaing untuk mencapai tujuan yang berbeda atau konflik). Pemahaman kedua konsep ini sangat penting dalam merancang sistem cerdas yang dapat beroperasi dalam lingkungan dinamis, kompleks, dan sering kali tidak terstruktur.

### 1. Konsep Kolaborasi dalam MAS

#### a. Definisi Kolaborasi

Kolaborasi terjadi ketika dua atau lebih agen bekerja sama untuk mencapai tujuan yang saling menguntungkan atau tujuan global yang tidak dapat dicapai oleh satu agen saja. Pada konteks ini, agen saling berbagi informasi, membagi tugas, dan menyelaraskan rencana.

#### b. Tujuan Kolaborasi

Kolaborasi dalam MAS bertujuan untuk mencapai efisiensi dan efektivitas yang lebih tinggi dalam penyelesaian tugas, meningkatkan kualitas keputusan melalui pertukaran informasi antar agen, serta memungkinkan tercapainya tujuan global yang tidak dapat diselesaikan oleh satu agen secara mandiri. Dengan berkolaborasi, sistem dapat bekerja lebih stabil, adaptif, dan responsif terhadap perubahan lingkungan.

- Mengurangi beban kerja agen individu.
- Meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem.
- Menghasilkan solusi yang lebih baik melalui sinergi agen.
- Mengatasi keterbatasan kemampuan agen tunggal.

#### c. Mekanisme Kolaborasi

Kolaborasi dilakukan melalui mekanisme berikut:



### 1) Koordinasi (*Coordination*)

Agen mengatur aktivitas mereka agar tidak saling bertentangan dengan cara menyelaraskan rencana, waktu eksekusi, dan ruang lingkup tindakan. Proses koordinasi ini memastikan bahwa setiap agen bekerja dalam harmoni operasional, sehingga tidak terjadi konflik tugas, duplikasi pekerjaan, atau interferensi yang dapat menurunkan kinerja sistem secara keseluruhan.

Contoh: dua agen robot menghindari tabrakan saat membawa beban.

### 2) Kooperasi (*Cooperation*)

Agen bekerja bersama karena memiliki tujuan bersama yang membutuhkan kolaborasi dalam bentuk pembagian peran, pertukaran data, dan penyelarasan tindakan. Dengan tujuan yang selaras, agen dapat mengoordinasikan aktivitas mereka untuk mencapai performa optimal dan menghindari redundansi.

Contoh: agen irigasi dan agen pemupukan saling menyesuaikan jadwal agar tanaman tidak stress.

### 3) Negosiasi (*Negotiation*)

Agen mencapai kesepakatan untuk memilih langkah terbaik bersama melalui proses negosiasi dan pertukaran informasi yang terstruktur. Mereka mengevaluasi berbagai alternatif tindakan, mempertimbangkan kepentingan masing-masing, dan akhirnya menyepakati solusi yang memberikan manfaat optimal bagi keseluruhan sistem.

Contoh: dua agen berbagi sumber daya air berdasarkan prioritas.

#### d. Bentuk Kolaborasi

- **Pembagian Tugas (Task Allocation)**  
Setiap agen mengambil peran sesuai kapasitasnya.
- **Kolaborasi Informasi (Information Sharing)**  
Agen saling berbagi data untuk memperkaya basis pengetahuan.
- **Kolaborasi Strategis (Strategic Collaboration)**  
Agen merencanakan langkah-langkah bersama untuk mencapai target global.



#### e. Contoh Kolaborasi

- Smart Farming

- Agen sensor → memberi informasi kelembaban tanah
- Agen irigasi → mengatur air
- Agen manajemen tanaman → menentukan jadwal tanam dan pemupukan

Semua bekerja sama menjaga kesehatan tanaman secara optimal.

- Robotik Kolaboratif (CoBots)

Dua robot bekerja bersama mengangkut barang, menghindari rintangan secara real-time.

- Sistem Lalu Lintas Cerdas

Agen lampu merah dan agen kendaraan berkolaborasi mengatur kepadatan jalan.

## 2. Konsep Kompetisi dalam MAS

### a. Definisi Kompetisi

Kompetisi terjadi ketika agen memiliki tujuan yang bertentangan atau sumber daya yang terbatas, sehingga agen saling bersaing untuk mencapai hasil yang paling menguntungkan bagi dirinya.

### b. Tujuan Kompetisi

- Mengoptimalkan hasil individu.
- Mendorong agen mengambil strategi terbaik.
- Memunculkan dinamika sistem yang lebih realistis, terutama dalam simulasi ekonomi dan pasar.

### c. Bentuk-Bentuk Kompetisi

- Kompetisi Sumber Daya (Resource Competition)  
Agen memperebutkan sumber daya yang terbatas.  
Contoh: alokasi air di musim kemarau.
- Kompetisi Ekonomi (Economic Competition)



Agen penjual bersaing memperebutkan pembeli dengan strategi harga.

- **Kompetisi Strategis (Strategic Competition)**

Agen berusaha mengalahkan strategi agen lain untuk mendapatkan keuntungan lebih besar.

Contoh: strategi penawaran dalam lelang agen.

### 3. Koeksistensi Kolaborasi dan Kompetisi

Dalam banyak sistem nyata, kolaborasi dan kompetisi tidak berdiri sendiri, melainkan terjadi secara bersamaan. Agen dapat bekerja sama di satu sisi, tetapi tetap mempertahankan kepentingan individu di sisi lain.

Contoh: Pasar Pertanian Cerdas

- Agen petani bekerja sama berbagi informasi cuaca.
- Namun bersaing dalam menentukan harga jual produk.

Contoh: Sistem Lalu Lintas

- Agen kendaraan bekerja sama menjaga jarak aman.
- Namun tetap “bersaing” untuk mencapai tujuan secepat mungkin.

Keseimbangan ini menciptakan dinamika yang lebih adaptif dan realistis dalam pengembangan sistem cerdas.

### 4. Teknik untuk Mengelola Kolaborasi dan Kompetisi

#### a. Contract Net Protocol (CNP)

Digunakan untuk pembagian tugas secara kolaboratif, yaitu mekanisme di mana agen-agen mendistribusikan pekerjaan berdasarkan kapasitas, keahlian, dan kondisi lingkungan. Pendekatan ini memungkinkan sistem multi-agen menyelesaikan tugas kompleks dengan lebih efisien melalui koordinasi yang terstruktur dan saling melengkapi antar agen.

#### b. Game Theory (Teori Permainan)

Digunakan untuk menganalisis situasi kompetitif dan menentukan strategi optimal melalui pendekatan teori permainan, di mana agen mengevaluasi pilihan-



pilihan yang tersedia dengan mempertimbangkan tindakan agen lain. Analisis ini memungkinkan agen menemukan *Nash Equilibrium*, yaitu kondisi ketika tidak ada agen yang dapat meningkatkan keuntungannya dengan mengubah strategi secara unilateral.

#### c. Auction Mechanisms (Mekanisme Lelang)

Digunakan untuk mengalokasikan sumber daya secara adil dalam lingkungan kompetitif, di mana agen-agen saling bersaing untuk mendapatkan akses terhadap sumber daya yang terbatas. Mekanisme ini memastikan bahwa distribusi sumber daya berlangsung secara efisien dan transparan, sekaligus mencegah dominasi oleh satu agen tertentu melalui penerapan prinsip-prinsip alokasi yang terukur dan objektif.

#### d. Consensus Algorithms

Digunakan untuk mencapai kesepakatan global pada lingkungan kolaboratif, di mana seluruh agen perlu menyepakati suatu keputusan bersama yang konsisten dengan tujuan sistem secara keseluruhan. Mekanisme ini memastikan bahwa setiap agen berkontribusi pada proses deliberasi sehingga hasil akhir mencerminkan kehendak kolektif dan mendukung stabilitas operasional sistem multi-agen.

#### e. Multi-Agent Reinforcement Learning

Agan belajar berkolaborasi atau bersaing berdasarkan pengalaman melalui proses pembelajaran adaptif yang memungkinkan mereka mengevaluasi hasil dari setiap tindakan dan menyesuaikan strategi di masa depan. Dengan mekanisme ini, agen secara bertahap memahami kapan harus bekerja sama untuk mencapai tujuan kolektif dan kapan harus bersaing untuk memaksimalkan utilitas individu, sehingga perilaku sistem menjadi semakin cerdas dan dinamis dari waktu ke waktu.

## 5. Ringkasan

Kolaborasi dan kompetisi adalah dua pilar utama yang menentukan perilaku sistem multi-agen.



- Kolaborasi meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem melalui koordinasi, pembagian tugas, dan sinergi.
- Kompetisi mendorong agen mencapai performa terbaik dalam situasi sumber daya terbatas atau kepentingan yang berbeda.
- Keduanya dapat terjadi secara bersamaan, menciptakan sistem cerdas yang adaptif, fleksibel, dan mendekati dinamika dunia nyata.

