

## Bab 2: Cara Berpikir Seperti Ilmuwan

Pada bab sebelumnya, kita melihat bahwa mekanika kuantum terasa aneh karena dunia atom tidak selalu mengikuti kebiasaan dunia sehari-hari. Tetapi sebelum kita masuk lebih jauh ke atom, cahaya, elektron, dan peluang, kita perlu belajar satu hal yang sangat penting:

Bagaimana ilmuwan berpikir ketika menghadapi sesuatu yang belum dipahami?

Ini bukan berarti kita harus menjadi profesor. Berpikir seperti ilmuwan tidak dimulai dari jas laboratorium, rumus panjang, atau alat mahal. Berpikir seperti ilmuwan dimulai dari kebiasaan sederhana: memperhatikan dengan teliti, bertanya dengan jujur, menguji dugaan, dan bersedia mengubah pendapat ketika bukti menunjukkan hal lain.

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sebenarnya sering melakukan versi sederhana dari cara berpikir ilmiah.

Misalnya, suatu pagi kompor tidak menyala. Anda tidak langsung berkata, "Alam semesta sedang rusak." Anda mulai memeriksa:

- Apakah tabung gas kosong?
- Apakah selangnya tertekuk?
- Apakah pemantik kompor bermasalah?
- Apakah regulatornya longgar?

Anda punya beberapa dugaan. Lalu Anda menguji satu per satu. Jika tabung diganti dan kompor menyala, dugaan "gas habis" menjadi kuat. Jika tabung masih penuh tetapi selang bocor, dugaan berubah.

Itulah dasar berpikir ilmiah: mencocokkan dugaan dengan kenyataan.

Ilmu pengetahuan modern memang jauh lebih rapi dan ketat daripada memeriksa kompor, tetapi akarnya mirip. Sains berkembang melalui hubungan antara pengamatan, model, pengukuran, percobaan, dan bukti. Para filsuf dan pendidik sains sering menekankan bahwa tidak ada satu "resep tunggal" yang selalu diikuti semua ilmuwan, tetapi ada pola umum: gagasan ilmiah harus berhubungan dengan bukti dari dunia nyata dan dapat diuji secara terbuka [Chalmers, 2013].

Mari kita bangun pelan-pelan.

### **Pengamatan: Awal dari Pertanyaan**

Pengamatan adalah kegiatan memperhatikan sesuatu yang terjadi di dunia. Pengamatan bisa dilakukan dengan indra, seperti melihat, mendengar, mencium, atau menyentuh. Pengamatan juga bisa dilakukan dengan alat, seperti termometer, timbangan, penggaris, mikroskop, atau detektor cahaya.

Contoh sederhana:

Anda memasak air. Setelah beberapa menit, muncul gelembung. Air menjadi panas. Tutup panci mungkin bergetar. Uap naik ke udara.

Itu semua adalah pengamatan.

Namun, dalam sains, kita perlu membedakan antara apa yang diamati dan apa yang disimpulkan.

Misalnya:

- Pengamatan: "Ada gelembung muncul dari dasar panci."
- Kesimpulan sementara: "Air sedang mendidih."

Kesimpulan itu masuk akal, tetapi tetap perlu hati-hati. Mungkin gelembung kecil muncul sebelum air benar-benar mencapai titik didih karena udara terlarut keluar dari air. Jadi, jika ingin lebih pasti, kita bisa mengukur suhu dengan termometer.

Contoh lain:

- Pengamatan: "Baju di jemuran lebih cepat kering saat hari panas dan berangin."
- Kesimpulan sementara: "Panas dan angin membantu air menguap dari kain."

Kesimpulan ini dapat diuji. Kita bisa membandingkan kain basah yang dijemur di tempat panas berangin, panas tanpa angin, teduh berangin, dan teduh tanpa angin. Dari sana kita mulai melihat pola.

Dalam mekanika kuantum, pengamatan sering tidak sesederhana melihat gelembung air. Kita tidak bisa melihat elektron dengan mata seperti melihat biji beras. Elektron terlalu kecil. Maka ilmuwan memakai alat dan melihat efeknya: jejak di detektor, titik cahaya di layar, arus listrik, spektrum warna, atau hasil pengukuran energi.

Jadi, sejak awal kita perlu menerima satu prinsip penting:

Tidak semua yang nyata dapat dilihat langsung dengan mata.

Kita tidak melihat angin, tetapi kita melihat daun bergerak. Kita tidak melihat panas sebagai benda, tetapi kita merasakan efeknya dan mengukurnya dengan termometer. Kita tidak melihat elektron secara langsung seperti melihat kelereng, tetapi kita dapat mengukur akibat keberadaannya.

## **Dugaan: Jawaban Sementara yang Harus Diuji**

Setelah mengamati, manusia biasanya bertanya: “Mengapa begitu?”

Dari pertanyaan itu muncul dugaan.

Dalam sains, dugaan yang dibuat untuk menjelaskan suatu gejala dan dapat diuji sering disebut hipotesis. Hipotesis bukan sembarang tebakan. Hipotesis adalah jawaban sementara yang harus bersedia diperiksa oleh kenyataan.

Contoh sehari-hari:

Anda melihat tanaman di pot layu.

Beberapa hipotesis mungkin muncul:

1. Tanaman kekurangan air.
2. Tanaman terlalu banyak air sehingga akar membusuk.
3. Tanaman kurang cahaya.
4. Tanaman terkena hama.
5. Tanahnya kekurangan unsur hara.

Semua ini mungkin. Tetapi tidak semuanya otomatis benar.

Bagaimana mengujinya?

Jika Anda menyiram tanaman dan beberapa jam kemudian tanaman segar kembali, hipotesis “kekurangan air” menjadi lebih kuat. Tetapi jika setelah disiram tanaman tetap layu selama sehari-hari, mungkin masalahnya bukan hanya air. Anda perlu memeriksa akar, tanah, cahaya, atau hama.

Hipotesis yang baik biasanya memiliki ciri penting: ia membuat kita tahu apa yang harus diperiksa.

Misalnya, hipotesis “tanaman layu karena kurang air” memberi arah pemeriksaan: cek kelembapan tanah, cek jadwal penyiraman, lihat reaksi tanaman setelah disiram.

Dalam fisika, hipotesis juga harus mengarah pada sesuatu yang bisa diuji. Karl Popper terkenal menekankan bahwa gagasan ilmiah harus terbuka terhadap kemungkinan dibuktikan salah oleh pengamatan atau percobaan; maksudnya, gagasan itu harus berani membuat klaim yang dapat diperiksa, bukan selalu bisa mencari alasan agar terlihat benar apa pun hasilnya [Popper, 1959].

Contoh gagasan yang sulit diuji:

> “Kompor tidak menyala karena ada energi misterius yang tidak bisa dideteksi, tidak memengaruhi apa pun secara terukur, dan selalu menghindar dari semua pemeriksaan.”

Kalimat itu mungkin terdengar dramatis, tetapi tidak membantu. Jika sesuatu tidak dapat diamati efeknya, tidak dapat diukur, dan tidak membuat prediksi yang berbeda dari keadaan biasa, maka sains tidak punya pegangan untuk memeriksanya.

Sebaliknya, hipotesis seperti ini dapat diuji:

> “Kompor tidak menyala karena gas tidak mengalir ke burner.”

Dari sini kita bisa memeriksa tabung, regulator, selang, dan lubang kompor.

Dalam mekanika kuantum, banyak gagasan besar lahir karena ilmuwan berani membuat hipotesis yang dapat diuji. Misalnya, ketika cahaya dalam keadaan tertentu tampak membawa energi dalam paket-paket kecil, gagasan itu bukan hanya kalimat indah. Ia harus cocok dengan hasil pengukuran, seperti efek fotolistrik yang akan kita bahas di bab berikutnya.

## **Percobaan: Bertanya kepada Alam dengan Cara Teratur**

Percobaan adalah cara menguji dugaan dengan membuat keadaan tertentu, lalu melihat apa yang terjadi. Jika pengamatan adalah “melihat apa yang terjadi”, percobaan adalah “mengatur keadaan agar pertanyaan kita lebih jelas”.

Bayangkan Anda ingin tahu apakah ragi membuat adonan roti mengembang.

Jika Anda hanya membuat satu adonan dengan ragi dan adonan itu mengembang, Anda mungkin tergoda berkata, “Ragi membuat adonan mengembang.” Tetapi masih ada kemungkinan lain. Mungkin adonan mengembang karena suhu ruangan hangat. Mungkin karena tepung tertentu. Mungkin karena waktu tunggu yang lama.

Cara yang lebih baik adalah membandingkan dua adonan:

- Adonan A: memakai ragi.
- Adonan B: tidak memakai ragi.

Keduanya memakai tepung yang sama, air yang sama, suhu yang sama, dan waktu tunggu yang sama. Jika adonan A mengembang jauh lebih besar daripada adonan B, dugaan bahwa ragi berperan menjadi lebih kuat.

Dalam percobaan, sesuatu yang kita ubah dengan sengaja disebut variabel. Variabel adalah hal yang bisa berbeda-beda nilainya atau keadaannya.

Pada contoh roti:

- Variabel yang diubah: ada atau tidaknya ragi.
- Variabel yang dijaga tetap: jenis tepung, jumlah air, suhu, waktu tunggu.
- Hal yang diamati: seberapa besar adonan mengembang.

Percobaan yang baik berusaha membuat pertanyaan menjadi bersih. Bukan berarti selalu sempurna, tetapi ia berusaha mengurangi kebingungan.

Dalam fisika kuantum, percobaan sering sangat halus. Misalnya, ilmuwan mungkin ingin tahu apakah elektron menunjukkan pola seperti gelombang. Maka mereka menyiapkan sumber elektron, penghalang dengan celah kecil, dan layar detektor. Mereka mengatur agar elektron lewat satu per satu. Dari titik-titik yang muncul di layar, mereka mencari pola. Percobaan seperti itu bukan sekadar “melihat-lihat”, tetapi bertanya kepada alam dengan susunan yang sangat terencana.

Richard Feynman pernah menggambarkan inti kerja fisika sebagai proses menebak hukum, menghitung akibat dari tebakan itu, lalu membandingkannya dengan percobaan; jika tidak cocok dengan percobaan, gagasan itu harus ditinggalkan atau diperbaiki [Feynman et al., 1963]. Ini terdengar sederhana, tetapi sangat kuat.

## **Pengukuran: Memberi Angka pada Pengamatan**

Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering berkata:

- “Airnya panas.”
- “Kainnya berat.”
- “Jalannya jauh.”
- “Masakannya terlalu asin.”

Kalimat seperti itu berguna. Tetapi dalam sains, kita sering perlu lebih teliti. Kita bertanya:

- Seberapa panas?
- Seberapa berat?
- Seberapa jauh?
- Seberapa asin?

Pengukuran adalah proses membandingkan sesuatu dengan satuan tertentu sehingga kita memperoleh nilai. Misalnya, ketika mengukur panjang meja dengan meteran, kita membandingkan panjang meja dengan satuan meter atau sentimeter.

Contoh:

- Panjang meja: 120 cm.
- Massa beras: 5 kg.
- Suhu air: 90°C.
- Waktu merebus telur: 8 menit.

Satuan membantu orang lain memahami hasil kita. Jika seseorang berkata, "Saya memasak nasi dengan air sebanyak dua," kita bingung. Dua apa? Dua gelas? Dua liter? Dua mangkuk?

Dalam sains, angka tanpa satuan sering tidak cukup.

Pengukuran juga penting karena indra manusia terbatas. Tangan kita bisa membedakan air dingin dan panas, tetapi tidak bisa memberi suhu yang tepat. Mata kita bisa melihat lampu terang atau redup, tetapi tidak selalu bisa mengukur intensitas cahaya dengan akurat. Telinga kita bisa mendengar suara pelan atau keras, tetapi alat dapat mengukur frekuensi dan intensitas dengan lebih konsisten.

Namun, ada hal penting: setiap pengukuran memiliki ketidakpastian.

Ketidakpastian bukan berarti pengukuran asal-asalan. Ketidakpastian berarti ada batas ketelitian. Jika kita mengukur panjang meja dengan penggaris biasa, mungkin kita mendapat 120,0 cm, tetapi ujung meja tidak selalu pas tepat pada garis skala. Mata kita juga bisa sedikit berbeda saat membaca. Maka hasil yang lebih jujur mungkin seperti: 120,0 cm dengan ketidakpastian sekitar 0,1 cm atau 0,2 cm, tergantung alat dan cara membaca.

Panduan internasional tentang ketidakpastian pengukuran menekankan bahwa hasil pengukuran yang lengkap sebaiknya menyertakan nilai dan informasi tentang ketidakpastiannya, karena angka pengukuran bukan salinan sempurna dari kenyataan, melainkan perkiraan terbaik berdasarkan alat dan prosedur yang digunakan [JCGM, 2008].

Contoh sehari-hari:

Jika timbangan dapur menunjukkan 500 gram tepung, mungkin sebenarnya tepung itu 499 gram atau 501 gram. Untuk membuat kue di rumah, selisih kecil ini biasanya tidak masalah. Tetapi untuk percobaan kimia atau fisika yang sangat teliti, selisih kecil bisa penting.

Dalam mekanika kuantum, pengukuran menjadi lebih menarik lagi. Pada dunia sehari-hari, kita sering menganggap pengukuran hanya “melihat keadaan yang sudah ada”. Tetapi dalam dunia kuantum, tindakan pengukuran dapat berhubungan sangat erat dengan keadaan yang terukur. Kita belum akan membahasnya sekarang. Yang penting untuk saat ini: pengukuran bukan bagian kecil dari sains. Pengukuran adalah jembatan antara gagasan dan kenyataan.

## **Model: Peta Sederhana untuk Memahami Dunia**

Sekarang kita sampai pada salah satu kata terpenting dalam sains: model.

Model adalah gambaran sederhana tentang sesuatu yang rumit. Model tidak harus berupa benda mini. Model bisa berupa gambar, cerita, rumus, grafik, atau simulasi komputer. Tujuannya bukan menyalin kenyataan secara sempurna, tetapi membantu kita memahami, menjelaskan, dan memperkirakan apa yang akan terjadi.

Contoh paling mudah adalah peta.

Peta kota bukan kota sungguhan. Di peta tidak ada bau pasar, suara motor, panas jalan, atau tinggi bangunan yang lengkap. Tetapi peta berguna karena menunjukkan jalan, arah, dan jarak secara sederhana. Peta yang baik menghilangkan banyak detail agar hal penting lebih mudah terlihat.

Model ilmiah juga begitu.

Misalnya, ketika menjelaskan gas di dalam balon, kita bisa memakai model bahwa gas terdiri dari banyak partikel kecil yang bergerak ke segala arah. Model ini tidak membuat kita melihat setiap partikel satu per satu, tetapi membantu menjelaskan mengapa balon mengembang, mengapa tekanan bertambah saat gas dipanaskan, dan mengapa udara keluar jika balon bocor.

Model selalu punya batas.

Peta jalan berguna untuk mencari alamat, tetapi tidak cukup untuk mengetahui rasa makanan di restoran. Peta cuaca berguna untuk memperkirakan hujan, tetapi tidak memberi tahu warna pagar rumah tetangga. Demikian juga model ilmiah: satu model bisa sangat baik untuk menjawab pertanyaan tertentu, tetapi tidak cocok untuk pertanyaan lain.

Ini penting sekali untuk mekanika kuantum.

Dulu, orang pernah membayangkan atom seperti tata surya kecil: inti atom di tengah, elektron mengelilingi seperti planet. Model ini membantu pada tahap awal, tetapi tidak benar jika dipahami terlalu harfiah. Elektron bukan planet kecil yang berputar mengelilingi inti dengan lintasan biasa. Bab tentang atom nanti akan menunjukkan mengapa model lama itu perlu diganti.

Jadi, ketika buku ini memakai analogi, kita akan berhati-hati. Analogi adalah jembatan, bukan rumah akhir. Ia membantu kita menyeberang dari hal yang akrab menuju hal baru, tetapi tidak boleh dianggap sama persis.

Contoh analogi yang berguna tetapi terbatas:

- Mengatakan elektron “seperti gelombang” membantu kita memahami pola interferensi.
- Tetapi elektron bukan gelombang air kecil.
- Mengatakan cahaya datang dalam “paket energi” membantu kita memahami foton.
- Tetapi foton bukan paket seperti bungkus gula yang melayang-layang dengan bentuk kecil.

Dalam sains, model dinilai dari kemampuannya menjelaskan data, membuat prediksi, dan tetap cocok ketika diuji lebih jauh. Buku pengantar sains sering menekankan bahwa teori dan model ilmiah bukan sekadar hiasan pikiran, melainkan alat untuk menjelaskan pola bukti dan menghasilkan prediksi yang dapat diperiksa [National Academy of Sciences, 1998].

## **Bukti: Alasan yang Mengikat Keyakinan**

Dalam percakapan sehari-hari, kata “bukti” sering dipakai dengan longgar. Seseorang bisa berkata, “Saya yakin karena rasanya begitu.” Atau, “Buktinya banyak orang bilang.” Dalam sains, bukti harus lebih kuat daripada perasaan atau popularitas.

Bukti ilmiah adalah informasi dari pengamatan, pengukuran, atau percobaan yang mendukung atau melemahkan suatu gagasan.

Contoh:

Dugaan: "Sendok logam terasa lebih dingin daripada sendok kayu karena logam menyerap dingin."

Pengamatan: Sendok logam dan sendok kayu berada di ruangan yang sama sepanjang malam.

Pengukuran: Jika diukur dengan termometer yang tepat, keduanya memiliki suhu yang hampir sama.

Penjelasan yang lebih baik: Sendok logam terasa lebih dingin karena logam menghantarkan panas dari tangan kita lebih cepat daripada kayu. Jadi tangan kita kehilangan panas lebih cepat saat menyentuh logam.

Di sini, pengukuran membantu memperbaiki dugaan. Rasa di tangan adalah pengamatan awal, tetapi bukan akhir cerita.

Bukti ilmiah juga biasanya lebih kuat jika:

1. Dapat diperiksa oleh orang lain.
2. Diperoleh dengan cara yang jelas.
3. Cocok dengan banyak pengamatan, bukan hanya satu kejadian.
4. Dapat membedakan antara beberapa dugaan yang bersaing.
5. Tetap kuat meskipun diuji dengan cara berbeda.

Misalnya, jika satu orang berkata, "Saya mencoba obat ini sekali lalu sembuh," itu belum cukup untuk menyimpulkan obat tersebut pasti penyebab kesembuhan. Mungkin penyakitnya memang akan sembuh sendiri. Mungkin ada faktor lain. Untuk menilai obat, ilmuwan perlu membandingkan banyak orang, memakai kelompok pembanding, mengukur hasil, dan mengurangi pengaruh harapan atau kebetulan.

Dalam fisika, prinsipnya serupa. Satu hasil mengejutkan perlu diperiksa lagi. Alat perlu dikalibrasi. Kesalahan sistematis perlu dicari. Percobaan perlu diulang. Jika hasil yang sama muncul dari banyak jalur yang berbeda, kepercayaan ilmiah menjadi lebih kuat.

## **Teori Ilmiah Bukan "Sekadar Tebakan"**

Sekarang kita sampai pada kesalahpahaman yang sangat umum.

Dalam percakapan sehari-hari, kata "teori" sering berarti dugaan lemah.

Misalnya:

> “Itu baru teori.”

Maksudnya: “Itu baru tebakan.”

Tetapi dalam sains, teori memiliki arti yang jauh lebih kuat.

Teori ilmiah adalah kerangka penjelasan yang luas, didukung oleh banyak bukti, mampu menghubungkan banyak gejala, dan menghasilkan prediksi yang dapat diuji. National Academy of Sciences menjelaskan bahwa teori ilmiah adalah penjelasan yang kuat dan teruji dengan baik untuk berbagai fakta atau gejala alam, bukan sekadar spekulasi biasa [National Academy of Sciences, 1998].

Contoh teori ilmiah:

- Teori gravitasi menjelaskan mengapa benda jatuh, bagaimana planet bergerak, dan bagaimana satelit dapat mengorbit.
- Teori sel dalam biologi menjelaskan bahwa makhluk hidup tersusun dari sel.
- Teori atom menjelaskan bahwa materi tersusun dari atom dan membantu memahami kimia.
- Teori evolusi menjelaskan perubahan populasi makhluk hidup dari generasi ke generasi.
- Teori mekanika kuantum menjelaskan perilaku materi dan cahaya pada skala atom dan subatom.

Apakah teori ilmiah bisa berubah?

Bisa.

Tetapi “bisa berubah” bukan berarti “semua teori sama lemahnya”. Perubahan dalam sains biasanya terjadi karena bukti baru, pengukuran lebih teliti, atau model lama tidak lagi cukup. Kadang teori lama tetap berguna dalam batas tertentu.

Contoh penting: fisika Newton.

Hukum gerak Newton sangat berhasil menjelaskan gerak benda sehari-hari: bola, kereta, jembatan, ayunan, mesin, dan planet dalam banyak keadaan. Namun, ketika benda bergerak sangat cepat mendekati kecepatan cahaya, teori relativitas Einstein diperlukan. Ketika kita membahas atom dan elektron, mekanika kuantum diperlukan. Ini tidak berarti Newton “bodoh” atau “sepenuhnya salah”. Artinya, teori Newton sangat baik untuk wilayah tertentu, tetapi bukan gambaran paling lengkap untuk semua keadaan.

Ini seperti resep memasak.

Resep nasi di rice cooker sangat berguna untuk memasak nasi di rumah. Tetapi resep itu tidak menjelaskan cara membuat roti, fermentasi tape, atau proses kimia di dalam butiran beras secara rinci. Resep itu benar dan berguna dalam wilayahnya, tetapi bukan jawaban untuk semua pertanyaan.

Teori ilmiah juga seperti itu: kuat, tetapi memiliki batas pemakaian.

## **Fakta, Hukum, Model, dan Teori: Jangan Tertukar**

Ada beberapa kata yang sering bercampur: fakta, hukum, model, dan teori. Mari kita bedakan dengan sederhana.

Fakta adalah hasil pengamatan atau pengukuran yang telah diperiksa dengan baik.

Contoh:

> Air murni pada tekanan 1 atmosfer mendidih sekitar  $100^{\circ}\text{C}$ .

Ini fakta dalam kondisi tertentu. Jika tekanannya berubah, seperti di pegunungan tinggi, titik didih air berubah. Jadi fakta ilmiah biasanya selalu memiliki konteks.

Hukum ilmiah adalah pola teratur yang diringkas, sering dengan kalimat atau rumus.

Contoh:

> Jika tidak ada hambatan udara yang berarti, benda dekat permukaan Bumi mengalami percepatan jatuh yang hampir sama.

Hukum sering menjawab “apa polanya?” tetapi belum tentu menjelaskan “mengapa pola itu terjadi?” secara paling dalam.

Model adalah gambaran sederhana yang membantu kita memahami atau menghitung.

Contoh:

> Model gas sebagai kumpulan partikel kecil yang bergerak acak.

Teori adalah kerangka besar yang menjelaskan banyak fakta, hukum, dan model dalam satu pemahaman yang lebih menyeluruh.

Contoh:

> Mekanika kuantum adalah teori yang menjelaskan perilaku cahaya dan materi pada skala sangat kecil.

Perbedaan ini tidak selalu dipakai kaku dalam semua percakapan ilmiah, tetapi bagi pemula sangat membantu. Kita tidak perlu takut pada istilah. Yang penting adalah bertanya: istilah ini sedang dipakai untuk apa?

## **Mengapa Ilmuwan Tidak Cukup Mengandalkan Akal Sehat**

Akal sehat sangat berguna. Tanpa akal sehat, kita sulit hidup sehari-hari. Kita tahu pisau tajam berbahaya, lantai basah licin, dan panci panas dapat melukai tangan.

Tetapi akal sehat terbentuk dari pengalaman ukuran manusia. Kita tidak tumbuh dengan melihat elektron satu per satu. Kita tidak bermain dengan atom seperti bermain kelereng. Kita tidak merasakan cahaya sebagai paket energi kecil dalam kegiatan biasa.

Karena itu, ketika masuk ke dunia atom, akal sehat perlu ditemani pengukuran dan percobaan.

Contoh:

Akal sehat mungkin berkata, “Jika sesuatu adalah partikel, ia harus melewati satu celah atau celah lain, seperti kelereng.” Tetapi dalam percobaan celah ganda kuantum, elektron yang dikirim satu per satu dapat menghasilkan pola yang menunjukkan sifat gelombang. Ini bukan karena elektron adalah kelereng biasa yang bingung. Ini karena kategori sehari-hari “partikel kecil seperti bola” tidak cukup untuk menggambarkan dunia kuantum.

Contoh lain:

Akal sehat mungkin berkata, “Energi bisa bertambah sedikit demi sedikit berapa pun nilainya, seperti air dituang ke gelas.” Dalam banyak keadaan sehari-hari, gambaran ini cukup baik. Tetapi pada sistem atom tertentu, energi hanya muncul pada tingkat-tingkat tertentu. Ini seperti tangga, bukan bidang miring halus. Kita akan mempelajarinya nanti dalam bab tentang partikel dalam kotak dan atom.

Sains tidak membuang akal sehat. Sains memperluasnya.

Akal sehat adalah titik awal. Bukti adalah penuntun. Ketika keduanya bertentangan, ilmuwan tidak langsung membuang pengalaman sehari-hari, tetapi memeriksa: “Apakah pengalaman ini berlaku untuk keadaan yang sedang dipelajari?”

## Kesalahan Bukan Musuh, Asal Diperiksa

Banyak orang takut belajar sains karena takut salah. Padahal dalam sains, salah adalah bagian dari perjalanan. Yang penting bukan tidak pernah salah, tetapi tahu cara memperbaiki kesalahan.

Ada dua jenis kesalahan yang sering muncul.

Pertama, kesalahan acak. Ini adalah perbedaan kecil yang muncul karena variasi yang sulit dikendalikan.

Contoh:

Anda menimbang tepung tiga kali dan mendapat:

- 501 gram
- 500 gram
- 502 gram

Perbedaannya kecil. Mungkin karena timbangan, posisi wadah, atau cara membaca. Kesalahan acak sering dapat dikurangi dengan pengukuran berulang dan mengambil rata-rata.

Kedua, kesalahan sistematis. Ini adalah kesalahan yang arahnya cenderung tetap karena alat atau cara pengukuran bermasalah.

Contoh:

Timbangan dapur selalu menunjukkan 5 gram lebih berat karena belum disetel ke nol. Jika Anda menimbang tepung, gula, dan mentega, semuanya akan terbaca lebih berat dari nilai sebenarnya.

Kesalahan sistematis lebih berbahaya karena menggeser semua hasil ke arah yang sama. Untuk menemukannya, kita perlu membandingkan dengan alat standar, mengkalibrasi alat, atau memakai metode lain.

Dalam sains, mengakui ketidakpastian dan kemungkinan kesalahan bukan tanda lemah. Justru itu tanda kedewasaan. Hasil yang jujur bukan hasil yang pura-pura sempurna, melainkan hasil yang menyatakan bagaimana ia diperoleh dan seberapa dapat dipercaya.

## Cara Membaca Klaim Ilmiah di Kehidupan Sehari-hari

Sekarang mari kita terapkan cara berpikir ilmuwan pada informasi sehari-hari.

Misalnya, Anda membaca klaim:

> “Produk ini memakai energi kuantum untuk menyembuhkan semua penyakit.”

Apa yang sebaiknya ditanyakan?

Pertama:

Apa maksud “energi kuantum” di sini?

Dalam fisika, kata kuantum memiliki makna khusus. Ia berkaitan dengan paket energi, keadaan sistem kecil, dan aturan matematika tertentu. Jika istilah “kuantum” dipakai hanya agar terdengar canggih, kita perlu hati-hati.

Kedua:

Apa buktinya?

Apakah ada pengukuran? Apakah ada percobaan terkontrol? Apakah hasilnya dibandingkan dengan kelompok pembanding? Apakah penelitian diterbitkan dan diperiksa oleh ahli lain?

Ketiga:

Apakah klaimnya terlalu luas?

Klaim “menyembuhkan semua penyakit” sangat besar. Penyakit berbeda memiliki penyebab berbeda. Infeksi bakteri, patah tulang, diabetes, alergi, dan kanker bukan satu masalah yang sama. Klaim besar memerlukan bukti yang sangat kuat.

Keempat:

Apakah penjelasannya dapat diuji?

Jika penjual berkata, “Energinya tidak bisa diukur, tetapi pasti bekerja,” sains tidak punya pegangan. Sesuatu yang memengaruhi tubuh secara nyata seharusnya memberi efek yang dapat diperiksa dengan cara tertentu.

Berpikir ilmiah tidak berarti menjadi sinis terhadap semua hal. Berpikir ilmiah berarti tidak mudah tertipu dan tidak mudah percaya hanya karena sebuah kalimat terdengar modern.

## **Mengapa Semua Ini Penting untuk Mekanika Kuantum**

Mekanika kuantum bukan lahir karena ilmuwan ingin membuat dunia terdengar aneh. Mekanika kuantum lahir karena percobaan-percobaan tertentu tidak cocok dengan penjelasan lama.

Ilmuwan melihat data tentang cahaya dan panas. Mereka mengukur spektrum radiasi benda panas. Mereka mempelajari efek fotolistrik. Mereka mengamati garis-garis warna dari atom. Mereka menembakkan partikel kecil dan melihat pola yang tidak sesuai dengan gambaran klasik. Pelan-pelan, mereka menyadari bahwa model lama perlu diperbaiki.

Ini adalah pelajaran besar:

Sains tidak memaksa alam mengikuti intuisi kita. Sains memaksa pemikiran kita belajar dari alam.

Jika alam menunjukkan bahwa elektron tidak berperilaku seperti bola kecil biasa, maka tugas ilmuwan bukan memarahi elektron. Tugas ilmuwan adalah membuat model yang lebih baik.

Dalam bab-bab berikutnya, kita akan melihat bagaimana gelombang, cahaya, atom, dan peluang mulai saling bertemu. Beberapa gagasan akan terasa asing. Ketika itu terjadi, ingatlah bab ini.

Tanyakan:

- Apa pengamatannya?
- Apa hipotesisnya?
- Bagaimana percobaannya?
- Apa yang diukur?
- Model apa yang dipakai?
- Apa buktinya?
- Apakah teori ini membuat prediksi yang dapat diuji?

Dengan pertanyaan-pertanyaan itu, mekanika kuantum tidak lagi menjadi kumpulan kata misterius. Ia menjadi cerita ilmiah: cerita tentang manusia yang belajar mendengarkan alam dengan lebih teliti.

## **Ringkasan Bab**

Berpikir seperti ilmuwan berarti membangun kebiasaan memeriksa hubungan antara gagasan dan kenyataan.

Kita belajar bahwa:

- Pengamatan adalah memperhatikan gejala di dunia, baik dengan indra maupun alat.
- Hipotesis adalah dugaan sementara yang dapat diuji.
- Percobaan adalah cara bertanya kepada alam secara teratur.
- Variabel adalah hal yang dapat berubah dalam percobaan.
- Pengukuran memberi angka dan satuan pada pengamatan.
- Ketidakpastian adalah bagian normal dari pengukuran, bukan tanda kegagalan.
- Model adalah gambaran sederhana yang membantu memahami dunia, tetapi selalu memiliki batas.
- Bukti ilmiah berasal dari pengamatan, pengukuran, dan percobaan yang dapat diperiksa.
- Teori ilmiah bukan sekadar tebakan, melainkan kerangka penjelasan luas yang didukung bukti dan menghasilkan prediksi.

Kita juga belajar bahwa akal sehat penting, tetapi tidak selalu cukup untuk dunia atom. Karena itu, mekanika kuantum harus dipahami bukan dengan menebak-nebak dari pengalaman sehari-hari saja, melainkan dengan mengikuti bukti.

Pada bab berikutnya, kita akan menyiapkan bekal matematika ringan. Bukan untuk membuat belajar menjadi sulit, tetapi agar kita punya bahasa yang lebih jelas saat berbicara tentang perubahan, grafik, peluang, dan rumus sederhana.

## References

Chalmers, A. F. (2013). *What Is This Thing Called Science?* 4th ed. University of Queensland Press.

Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (1963). *The Feynman Lectures on Physics, Vol. I*. Addison-Wesley.

Joint Committee for Guides in Metrology. (2008). *Evaluation of Measurement Data—Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (JCGM 100:2008)*. BIPM.

National Academy of Sciences. (1998). *Teaching About Evolution and the Nature of Science*. National Academy Press.

Popper, K. R. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson.

# Document information

## Bab 2: Cara Berpikir Seperti Ilmuwan

---

<b>Project</b>	Mekanika Kuantum dari Nol
<b>Document</b>	Document 1.6
<b>Author</b>	ningsumarti
<b>Verifier</b>	Not verified
<b>Downloaded</b>	July 05, 2026 22:54 KST
<b>Status</b>	Working
<b>Document link</b>	<a href="https://theorytrace.com/projects/mechanika-kuantum-dari-nol/documents/bab-2-cara-berpikir-seperti-ilmuwan/">https://theorytrace.com/projects/mechanika-kuantum-dari-nol/documents/bab-2-cara-berpikir-seperti-ilmuwan/</a>