

CAHAYA

Benny S. Brotosiswojo | Parahyangan Catholic University,
Bandung, Indonesia

Bagi kebanyakan orang, cahaya membuat kita dapat melihat apa yang ada disekitar kita, seperti misalnya saat siang hari yang cerah ketika kita berada di puncak sebuah gunung. Lembah yang hijau, langit yang biru dengan sejumlah gumpalan-gumpalan awan putih, bunga-bunga yang warna-warni, ...dsb; kalau itu ditambah dengan suara burung-burung yang berkicau,.... muncullah rasa kebahagiaan menyaksikan alam kita menyajikan cakrawala yang indah.

Pemandangan itu berlawanan dengan apa yang kita saksikan saat malam hari yang gelap gulita di tengah hutan belantara. Apa yang sesungguhnya ada di sekitar kita tidak lagi membentuk informasi yang dapat kita tangkap dengan indera penglihatan kita. Yang tersisa barangkali hanya kedipan bintang-bintang di langit yang cerah.

Pengalaman yang berlangsung hari demi hari selama bertahun-tahun membuat sejumlah orang mencatat konstelasi bintang-bintang itu yang rupanya berbeda dari waktu ke waktu. Lukisan geometrinya dipetakan dan disejajarkan dengan sketsa gambar binatang-binatang yang pernah ditemuinya.

Lukisan-lukisan tersebut rupanya berulang setiap tahun, lalu ada yang berupaya untuk mengaitkannya dengan penanggalan tahunan (sebuah perjanjian masyarakat untuk menandai hari-hari yang berulang setiap tahunnya). Lebih jauh lagi, ada juga yang mengaitkannya dengan nasib kehidupan orang-orang yang lahir pada tanggal-tanggal itu, yang sekarang dikenal dengan nama „horoskop“, seolah-olah takdirnya semata-mata ditentukan oleh tanggal lahirnya.

Kata „cahaya“ kadang-kadang juga kita gunakan dalam arti „kiasan“

Yang bisa „gelap gulita“ bukan hanya alam saja, melainkan juga hati dan perasaan seseorang. Dalam konteks ini „cahaya“ menjadi anugerah penerangan yang membuat kita tercerahkan sehingga hati kita dapat melihat serta menghadapi kehidupan dengan rasa tenteram; sama halnya dengan sinar matahari di siang hari yang membantu kita berjalan maju tanpa harus terbentur pada benda-benda keras yang ada di sekitar kita.

Di sisi lain cahaya juga terkait dengan rasa “panas”, jadi peranannya bukan hanya untuk membantu mata kita melihat obyek-obyek di sekitar kita, melainkan juga dapat digunakan untuk memanaskan badan pada saat udara dingin di malam hari dalam wujud api unggun. Cahaya matahari yang menerangi kita pada siang hari juga dapat dimanfaatkan sifat panasnya. Banyak rumah-rumah jaman sekarang yang memasang alat diatapnya untuk menangkap terik matahari sebagai pembuat air panas untuk mandi.

Cahaya matahari pula yang diperlukan oleh daun-daun warna hijau untuk proses fotosintesa guna menjaga kelangsungan hidupnya. Tumbuhan yang letaknya terhalang dari sinar matahari cenderung berusaha agar dapat mengarahkan daun-daunnya hingga dapat berinteraksi dengan cahaya matahari. Barangkali perlu kita sadari bahwa seandainya matahari tidak lagi memancarkan cahayanya maka kehidupan (biologis) umat manusia di bumi ini akan punah.

Menggunakan analogi dengan api unggun yang berfungsi sebagai penerangan dan pemanasan, kita berkesimpulan bahwa matahari adalah sebuah „api unggun“ yang sangat besar ukurannya. Itu dapat diamati di saat-saat gerhana matahari ketika dari arah pandangan kita sebagian besar dari bagian matahari itu tertutup oleh bulan. Bahkan ada informasi yang menyatakan bahwa suhu di matahari itu berkisar pada nilai 6000 derajat. Tetapi itu tidak berarti bahwa pernah ada manusia yang pergi ke matahari dengan membawa termometer untuk mengukur suhunya. Informasi semacam itu diperoleh lewat apa yang sering disebut „pengamatan tak langsung“, sebuah campuran antara data faktual dengan hasil „inferensi logika“ dari informasi-informasi faktual lainnya.

Mengambil kesimpulan lewat „pengamatan tak langsung“ itu tampaknya sudah menjadi kebiasaan bagi mereka yang kerjanya menggali ilmu pengetahuan. Sebelum orang dapat mendaratkan manusia di bulan, kita sudah tahu bahwa di bulan tidak ada oksigen seperti yang tersedia bagi kita untuk dapat bernapas tanpa bayar. Kita juga sudah tahu bahwa di bulan manusia biasa dapat melakukan loncat tinggi dua meter dengan sangat mudahnya, karena gaya gravitasi di bulan lebih kecil daripada gaya gravitasi di bumi. Kita juga berani menuliskan berapa besar massa(berat) bumi kita ini, meskipun tak terbayang berapa ukuran timbangan yang mampu

digunakan untuk mengukur berat bumi ini. Kalaupun alat itu ada, makhluk sebesar apa yang sanggup melakukan pengukuran semacam itu.

Pada ilmu perbintangan, informasi yang dihasilkan melibatkan ukuran-ukuran yang dapat kita katakan „sangat besar“ dibandingkan dengan ukuran manusia-manusia yang membuat kesimpulan dari hasil studinya. Bukan hanya besarnya benda-benda langit itu saja yang kita risaukan, tetapi juga ukuran jaraknya yang satu terhadap yang lain yang tampaknya tidak memungkinkan manusia sanggup melakukan pengukurannya secara langsung.

Ambisi kerja sekumpulan manusia yang membentuk „paguyuban ingin tahu“ dalam masyarakat dunia ini rupanya juga susah dibendung. Dalam paguyuban tersebut juga ada kelompok yang kerjanya melakukan pelbagai eksperimen untuk mengetahui cahaya itu „sebenarnya“ apa. Kalaupun tidak menemukan jawaban yang „benar“ sekurangnya dapat dikenal bagaimana perangnya. Barangkali saja dengan mengenal perangnya kita dapat melakukan rekayasa yang bisa membuat hidup kita lebih nyaman.

Dengan fokus obyek seperti cahaya, yang dihadapi bukan hanya ukuran yang sangat besar tetapi juga yang ukurannya **jauh lebih kecil** dibandingkan ukuran yang kita jumpai dalam hidup sehari-hari. Di sini sebaiknya kita bersedia untuk mawas diri. Apa yang disebut faktual bagi manusia, itu sesuatu yang dapat ditangkap lewat pancaindera manusia. Sudah cukup bukti bahwa di alam ini banyak hal yang benar-benar ada tetapi pancaindera manusia tidak sanggup untuk „menangkap“nya. Misalnya virus penyakit influenza menyebar di mana-mana tetapi kita tidak dapat melihat, mendengar, atau merasakannya. Ukurannya terlalu kecil untuk dilihat dengan mata, tidak memancarkan suara yang dapat kita tangkap dengan alat pendengaran kita, tidak menyebarkan bau yang bisa ditangkap oleh hidung kita, ...dsb.

Jadi, kalau kita ingin tahu „sebenarnya“ cahaya itu apa, perlu ada alat bantu yang dapat meningkatkan daya jangkauan pancaindera manusia, atau dapat menggunakan rangkaian hasil pengamatan faktual yang membantu kita membuat kesimpulan yang tepat. Kita perlu paham benar keterbatasan daya jangkauan dari masing-masing indera yang kita miliki.

Di samping itu, kesimpulan yang kita buat juga didasarkan atas hasil “inferensi logika” dari pengamatan dan pengukuran tak langsung. Jadi kitapun harus bersedia mengakui keterbatasan otak kita dalam melakukan proses “inferensi logika” tersebut.

Dari sejumlah hasil studi yang mendalam ada kesimpulan yang hingga saat ini “diterima” dan dirasakan sangat handal untuk diterapkannya tentang indera penglihatan kita. Mata kita tidak secara kontinu menangkap

isyarat. Setiap isyarat yang ditangkap harus dicerna dahulu selama sekitar $(1/20)$ detik. Artinya, setelah suatu saat menerima isyarat itu, mata kita “tidur” dahulu, isyarat-isyarat yang datang ketika mata kita sedang “tidur” tidak dicerna. Itulah sebabnya bioskop menampilkan gambar/potret berturut-turut dengan selang waktu sekitar $(1/20)$ detik itu. Meskipun demikian yang tertangkap dalam indera kita proses itu seolah-olah berlangsung secara kontinu.

Lukisan yang ada pada pesawat televisi atau layar monitor komputer sedikit berbeda prosesnya. Gambar-gambar itu tidak muncul seketika, tetapi dilukis pelan-pelan hingga lengkap, asalkan waktunya tidak melebihi masa “tidur” mata kita. Yang kita tangkap isinya tidak berbeda dengan tayangan gambar lengkap berturut-turut seperti pada bioskop. Seandainya masa “tidur” mata kita hanya $(1/100)$ detik, maka tayangan televisi ataupun monitor komputer kita sama sekali tidak menarik lagi.

Hal lain lagi, menurut hasil penelitian, retina yang ada pada mata kita memiliki sensor warna yang jenisnya ada tiga. Yang satu peka terhadap warna merah, yang satu lagi peka terhadap warna hijau, dan yang lain lagi peka terhadap warna biru. Pengetahuan itu akhirnya dimanfaatkan oleh pembuat layar monitor televisi dan komputer. Untuk setiap titik (pixel) yang ada pada layar monitor dipasang tiga jenis pendar cahaya, jenis merah, hijau dan biru. Apapun yang sanggup diterima sebagai “warna” oleh mata kita merupakan kombinasi dari tiga warna itu, masing-masing dengan kadar tertentu. Lewat cara itu monitor televisi atau komputer dapat menyajikan gambar berwarna yang memenuhi selera kita seolah-olah kita sedang mengamati apa yang lazim kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari.

Teknologi semacam ini juga memudahkan kita mencetak lukisan-lukisan digital seperti yang ditayangkan pada layar monitor dengan printer yang cukup menyediakan tiga jenis tinta berwarna (kadang-kadang juga disediakan tambahan tinta hitam untuk mencetak teks yang biasanya hitam warnanya).

Masih ada keterbatasan lain pada indera penglihatan kita. Sudah cukup bukti yang menunjukkan bahwa cahaya itu tak lain daripada gelombang elektromagnetik. Yang dimaksud dengan *gelombang* adalah mirip dengan apa yang kita amati pada permukaan air tenang di danau jika ketenangan itu diusik dengan menjatuhkan sebuah batu kecil. Tiba-tiba permukaan air itu berubah naik-turun dan puncaknya menjalar menjauhi tempat batu kecil tadi dijatuhkan. Meskipun gelombang elektromagnetik berbeda dengan gelombang permukaan air tadi, tetapi ada beberapa sifat yang ungkapan maknanya sama. Permukaan air itu naik turun dengan *frekuensi* tertentu, bisa cepat dan bisa lambat. Jarak antara kedua “puncak” yang berturutan disebut

panjang gelombangnya. Ada lagi besaran yang disebut *kecepatan jalar* yaitu ukuran berapa jauh sebuah puncak gelombang telah menjalar dalam satu detiknya. Itu semua diungkapkan dalam bahasa matematika yang memungkinkan kita melakukan inferensi logika secara kuantitatif.

Sama halnya dengan gelombang elektromagnetik lainnya, yang saat ini kita gunakan untuk radio, televisi, telpon genggam, ... dsb. kecepatan jalarnya berada disekitar nilai 300 000 000 meter per detik. Jadi kalau gerakannya boleh melingkar akan mengelilingi bumi kita ini sebanyak tujuh kali dalam sedetik. Itulah sebabnya kita dapat menyaksikan pertandingan sepakbola yang ada di Eropa lewat siaran televisi pada saat yang hampir bersamaan dengan peristiwanya sendiri di sana.

Pesawat radio menggunakan gelombang elektromagnetik (sebagai “kendaraan” informasi suaranya) yang *panjang gelombangnya* beberapa puluh meter. Tetapi *panjang gelombang* cahaya yang dapat ditangkap oleh indera penglihatan kita berkisar antara 0.0000003 hingga 0.0000008 meter (300-800 nanometer). Jadi alat-alat ukur yang kita gunakan dalam kehidupan sehari-hari tidak akan mampu digunakan untuk mengukurnya.

Masih ada hal lain yang perlu kita pahami. Jika di malam hari yang gelap kita memperhatikan lalu lintas kendaraan bermotor, ketika di depan kita yang cukup jauh sebuah mobil memberi tanda ingin belok ke kanan, lampu kuning di bagian kanan mobil itu berkedip-kedip. Isyarat itu jelas memberitahu kita bahwa dia akan belok ke kanan. Tetapi jika yang ada pada jarak jauh itu sebuah sepeda motor, isyarat kedap-kedipnya lampu kuning cukup membingungkan sebab kita sukar membedakan apakah itu letaknya di kanan atau di kiri pada sepeda motor tadi. Maknanya, ada kendala lain yang juga membatasi kemampuan indera penglihatan kita, yang dalam bahasa teknisnya disebut “Resolving Power” atau barangkali terjemahan bahasa Indonesianya “daya urai”.

Mungkin penjelasan sederhananya bisa diungkapkan begini. Mata kita hanya dapat “melihat” sebuah benda jika ada cahaya. Cahaya itu sesungguhnya hanya berperan sebagai pembantu, sebab yang sampai pada mata kita bukan cahayanya itu sendiri, melainkan hasil pantulan cahaya tersebut oleh bendanya. Itulah sebabnya meskipun cahaya matahari berwarna putih, tetapi daun tampak berwarna hijau, bunga-bunga tampak dalam warna yang berbeda-beda. Mata kita dapat membedakan dua obyek selama jarak antara dua obyek itu lebih besar daripada *panjang gelombang* cahaya yang kita gunakan untuk “melacak”nya. Menggunakan mikroskop dengan perbesaran berapapun juga kita tidak pernah akan “melihat” bagaimana rupanya atom atau molekul yang membentuk selambar daun sirih. Atom atau molekul tersebut ukurannya tidak lebih dari satu

nanometer, sedangkan “gelombang” cahaya yang kita gunakan untuk melacaknya mempunyai ukuran lebih dari 300 nanometer. Apa yang tampak jika kita memakai mikroskop biasa (menggunakan cahaya sebagai alat pelacaknya) untuk melihat permukaan daun sirih itu tetap saja lembaran warna hijau yang ukurannya jauh lebih besar, tetapi gambarnya semakin kabur dan tidak pernah akan tampak sebagai kumpulan molekul atau atom pembentuknya.

Lalu bagaimana dengan upaya “paguyuban ingin tahu” itu dalam mencari jawaban atas pertanyaan : apakah se”benar”nya cahaya itu ? Tentu sajaberjalan terus....! Lalu apa sudah ada jawabannya ? Sejarahnya cukup panjang, eksperimen dan “inferensi logika” secara bergantian serta berulang-ulang dilakukan. Ada yang mengamati perangai obyek seperti sebatang logam, yang pada suhu ruang warnanya kehitaman. Tentu saja kalau benda itu dipanasi suhunya akan naik. Bila cukup panas logam itu berubah warna menjadi merah membara, lalu kalau suhunya terus dinaikkan warnanya berangsur-angsur berubah ke arah kuning dan pada suhu yang sangat tinggi warnanya berubah menjadi kebiruan . Kita juga melihat hal serupa pada nyala api dari sebuah kompor, warna nyala yang kebiruan justru menunjukkan bahwa suhunya lebih tinggi dibanding dengan nyala yang warnanya merah.

Yang lain mencoba menjajagi konsekuensi-konsekuensi logika dari anggapan kita bahwa cahaya itu gelombang elektromagnetik. Anehnya, kesimpulan akhirnya tidak sesuai dengan apa yang diamati. Lalu ada lagi yang menunjukkan (namanya Max Planck) bahwa kalau cara kita menurunkan inferensi logikanya diubah dengan bertolak dari anggapan bahwa cahaya itu berbentuk paket-paket energi dengan rumus tertentu maka data kuantitatif yang akan diperoleh akan cukup sesuai dengan perangai perubahan warna seperti yang diamati dari hasil pengukuran eksperimen. Hanya saja dia tidak menjelaskan mengapa harus begitu ? Apakah itu bukan sekedar permainan berhitung untuk membuat data teori sesuai dengan data eksperimen?

Sejarah berjalan dan upaya yang dilakukan banyak orang silih berganti. Kemudian ada eksperimen yang namanya “efek fotolistrik” yang diawal abad yang lalu disimpulkan oleh Albert Einstein sebagai perwujudan bahwa memang benar gelombang cahaya itu muncul dalam bentuk paket-paket energi yang nilainya sebanding dengan frekuensi gelombangnya. Untuk pemikiran tersebutlah Albert Einstein menerima hadiah Nobel. Perbandingan antara energi paket dengan frekuensi gelombangnya saat ini dikenal dengan nama *konstanta Planck*. Paket energi gelombang cahaya sekarang dikenal dengan nama *foton*, atau sering juga diberi nama “partikel

cahaya”. Kesimpulan tersebut pun kemudian diabsahkan dengan sejumlah eksperimen yang menunjukkan dampak tumbukan antara cahaya dengan partikel yang lain, yang ternyata mengikuti aturan yang tepat sama dengan tumbukan antara dua buah partikel.

Bagi mereka yang telah mempelajari baik partikel maupun gelombang seperti yang kita amati sehari-hari kesimpulan semacam itu “tidak masuk akal”. Partikel (tentu saja yang ukurannya kecil) dapat di ungkapkan dengan menyatakan “sekarang ini dia tepatnya ada dimana”, lokasinya jelas meskipun mungkin berubah pada waktu yang berbeda. Di sisi lain gelombang (seperti yang kita lihat pada permukaan air di danau itu) pada suatu saat menempati lokasi yang merentang cukup lebar, bahkan ada kalanya dapat dipisah menjadi dua atau lebih dan masing-masing menjalar dalam arah yang berbeda.

Bagian awal dari abad keduapuluh yang lalu penuh dengan perdebatan yang seru. Sebagian besar ingin mempertahankan pola pikir lamanya yang jelas-jelas sudah terbukti secara nyata dalam bentuk hasil-hasil rekayasa yang telah membuat kehidupan masyarakat menjadi lebih nyaman. Perlu lebih banyak eksperimen-eksperimen yang dilakukan untuk menjernihkan “kontradiksi” tersebut. Gelombang yang sekaligus bersifat partikel jelas tidak masuk akal yang “sehat”. Pasti masih ada informasi yang lain yang lebih masuk akal.

Tetapi juga ada kelompok yang berpikir sebaliknya. Kelompok ini beranggapan bahwa sukses yang telah diwujudkan di masa lalu, sebaiknya tidak membuat kita menjadi arogan, menganggap hanya cara bernalar semacam itu yang boleh disebut “akal yang sehat”. Jangan-jangan sukses-sukses sebelumnya itu telah membelenggu pola kita berpikir sehingga kenyataan-kenyataan lain tidak bisa kita terima jika tidak sesuai dengan jalan pikiran kita itu ?

Kegiatan “paguyuban ingin tahu” itu, tanpa disuruh oleh siapapun, berjalan terus, baik dalam wujud penalaran maupun dalam wujud pengamatan dan pengukuran. Kenyataan yang aneh seperti cahaya yang perangnya bisa ditafsirkan sebagai gelombang dan sekaligus sebagai partikel, kemudian berkembang lebih jauh lagi. Ada yang mengusulkan bahwa obyek partikel seperti elektron atau nukleon “sebenarnya” juga dapat berperan sebagai gelombang, ada rumus kuantitatif yang menghubungkan antara panjang gelombangnya dengan momentum geraknya. Makin cepat geraknya makin kecil panjang gelombangnya, bahkan hubungan kuantitatif itu melibatkan besaran *konstanta Planck*.

Sebagai contoh bukti bahwa usul/anggapan itu memang “benar”, sekarang sudah ada alat yang namanya *mikroskop elektron*. Keterbatasan

mikroskop biasa yang mengandalkan cahaya sebagai pelacaknya, terletak pada kemampuan “resolving power”nya yang tidak mungkin bernilai kurang dari 300 nanometer. Untuk meningkatkan kemampuan “resolving power” tersebut dibuat mikroskop yang pelacaknya bukan cahaya, melainkan berkas elektron. Dengan mengatur kecepatannya, panjang gelombangnya dapat dibuat lebih kecil dari 300 nanometer. Dengan demikian dewasa ini kita dapat mengurai obyek-obyek yang tidak dapat diurai dengan mikroskop yang menggunakan pelacak cahaya. Tetapi tentu saja dengan mikroskop-elektron, mata kita tidak dapat digunakan untuk mengamati gambar hasilnya secara langsung. Hasil pengamatannya bisa diwujudkan dalam bentuk data-data yang kemudian dapat diterjemahkan dalam bentuk gambar yang bisa ditafsirkan maknanya.

Pertanyaan berikutnya, kalau cahaya itu gelombang elektromagnetik sama halnya dengan gelombang yang digunakan pada pemancar radio atau televisi, mengapa cahaya muncul dari nyala api pada kompor gas, atau pada api unggun? Padahal untuk membuat pemancar radio kita menggunakan rangkaian-rangkaian elektronika?

Dari pengetahuan mengenai perangai dinamika kelistrikan diketahui bahwa gelombang elektromagnetik ditimbulkan oleh medan listrik yang kuatnya berosilasi secara teratur. Jika misalnya arahnya tegak (naik-turun) maka perubahan seperti itu akan menghasilkan medan magnet dalam arah tegak lurus arah medan listrik tadi, misalnya dalam arah datar ke kanan dan ke kiri. Tetapi osilasi medan magnet ini juga kemudian menimbulkan osilasi medan listrik serupa tetapi letaknya pada bidang yang sejajar dengan bidang sebelumnya dalam jarak tertentu. Begitulah awal osilasi medan listrik tadi akhirnya menjalar dalam arah yang tegak lurus bidang osilasi medan listrik dan medan magnet, dengan kecepatan sekitar 300 000 000 meter perdetik, sebagai gelombang elektromagnetik..

Begitulah ungkapan sederhana dari cara menghasilkan gelombang pemancar radio. *Panjang-gelombang* yang dihasilkan dari gerak osilasi medan listrik itu tergantung pada *frekuensi* gerak osilasi yang dibuat. Makin tinggi *frekuensinya*, makin pendek *panjang gelombang* elektromagnetik yang dihasilkannya. Jadi, untuk menghasilkan gelombang elektromagnetik yang *panjang gelombangnya* antara 300 hingga 800 nanometer, diperlukan frekuensi getaran yang sangat tinggi, diluar jangkauan dari kemampuan rangkaian elektronika.

Berdasarkan hitungan kuantitatif, gelombang elektromagnetik cahaya kira-kira dapat dihasilkan dari osilasi medan listrik yang ditimbulkan oleh gerak elektron mengelilingi inti sebuah atom. Jadi untuk mengenal bagaimana pancaran cahaya itu dihasilkan, kita terpaksa harus

mengaitkannya dengan mekanika gerak elektron dalam sebuah atom. Jelas bahwa proses semacam itu tidak dapat diamati secara langsung dengan mata kita, sebab ukuran atom tidak lebih dari satu nanometer.

Salah satu alat bantu yang dapat digunakan adalah yang dinamakan *spektrometer*. Sesuai dengan namanya, lewat bantuan alat ini kita dapat mengetahui *panjang gelombang* cahaya yang dipancarkan ke arah penangkap yang biasanya berbentuk prisma atau kisi-kisi. Prosesnya dilakukan dengan mengamati hasil biasanya dari arah sudut yang berbeda-beda. Ada kaitan antara sudut tadi dengan *panjang gelombang* cahaya yang mengenai prisma. Jadi kalau misalnya yang diperiksa adalah cahaya warna kuning maka hanya pada sudut yang terkait dengan *panjang gelombang* warna kuning itu saja yang muncul dengan intensitas tinggi, pada sudut-sudut lainnya tidak didapati intensitas cahaya. Sedangkan kalau yang dipancarkan itu cahaya berwarna putih (kumpulan dari segala macam warna) tentunya intensitas yang cukup besar akan muncul pada semua sudut.

Bagaimana kalau sumbernya berupa pijaran dari tabung yang hanya berisi gas atom tertentu? Yang tampak ternyata berbentuk garis-garis intensitas pada sudut-sudut tertentu saja. Letak garis-garis itupun akan berbeda jika tabungnya berisi atom yang berbeda. Artinya, kita dapat mendeteksi adanya atom tertentu dalam tabung gas tersebut dari pola-pola garis yang diamati alat spektrometer ini, serupa dengan cara kita mengenal orang berdasarkan gambar sidik jarinya.

Dengan cara semacam itu sejumlah warga „paguyuban ingin tahu“ meneliti apa yang terjadi pada atom yang paling sederhana. Jadi awalnya yang dipelajari adalah atom Hidrogen, yang hanya terdiri atas satu elektron mengelilingi inti atom yang juga hanya berupa sebuah proton. Hasil yang ditemui terasa cukup „aneh“. Keanehan pertama bahwa bentuknya berupa garis di lokasi yang berbeda-beda, artinya atom Hidrogen itu memancarkan lebih dari satu jenis *panjang gelombang*. Keanehan kedua, nilai-nilai *panjang gelombang* yang dipancarkannya itu mengikuti aturan aljabar tertentu (tidak sederhana).

Sejumlah warga „paguyuban ingin tahu“ yang lain mempelajari dengan cara penalaran lewat pengandaian dan inferensi logika. Ternyata ada yang menemukan model yang kalau diikuti dengan sejumlah inferensi logika matematik menghasilkan data yang sangat sesuai dengan aturan aljabar untuk nilai-nilai panjang gelombang hasil pengamatan spektroskopi tadi. Model inilah yang sampai sekarang dianggap yang paling tepat, karena ketika diterapkan pada kasus-kasus lainnya juga menghasilkan kesimpulan-kesimpulan yang sesuai dengan data hasil pengamatan dan pengukuran.

Ada beberapa anggapan yang harus dituruti yang dijadikan titik tolak bernalar tentang cahaya yang dapat dihasilkan oleh atom:

1. Elektron pada atom Hidrogen tidak dapat mengitari inti dalam bentuk sembarangan, hanya lintasan-lintasan yang menghasilkan energi tertentu boleh digunakan oleh elektron. Jadi atom Hidrogen hanya boleh memiliki energi yang nilainya tertentu saja. Ini tidak sama dengan yang lazim terjadi pada sebuah partikel bermuatan negatif yang bergerak mengitari sebuah muatan positif. Selama ini dipahami (klasik) energi pasangan partikel itu besarnya boleh merentang secara kontinu, tidak ada batasan bahwa nilai-nilai tertentu tidak diperkenankan.

2. Kalau lintasan elektron pindah dari salah satu status (yang diperkenankan) pada status lain (juga yang diperkenankan) yang energinya lebih rendah maka atom akan memancarkan cahaya dengan frekuensi yang besarnya sama dengan selisih energi dibagi dengan tetapan Planck. Sebaliknya, kalau energi barunya lebih tinggi daripada energi lamanya, maka atom tersebut menyerap foton (partikel cahaya) yang frekuensinya sama dengan selisih energi tadi dibagi tetapan Planck.

Itulah sebabnya model semacam ini menggunakan istilah “quantum”, artinya perpindahan energi obyek alam itu dari satu nilai ke nilai lainnya tidak dapat berjalan dengan cara merayap seperti ulat, melainkan harus dengan cara meloncat seperti jalannya binatang kangguru; loncatannya pun harus mengikuti aturan tertentu.

Pasti anggapan-anggapan seperti itu tidak mudah diterima oleh banyak orang. Sayangnya sekarang kita sudah dapat menyaksikan produk rekayasa yang dirancang berdasarkan anggapan-anggapan tadi, yaitu alat yang namanya LASER, singkatan dari “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”.

Kita sudah mengenal beragam kegunaan dari alat yang disebut LASER dalam kehidupan sehari-hari. Alat cetak di kantor kita ada yang namanya Laser Printer. Alat penunjuk gambar waktu seseorang menyajikan ceramahnya namanya Laser Pointer. Compact Disc (CD) untuk suara, video maupun penyimpanan data juga menggunakan laser sebagai pembuat lekuk-lekuk yang melukiskan sistem bilangan biner (hanya ada 0 dan 1 saja). Di bidang medis laser juga digunakan untuk memperbaiki kerusakan kulit, bahkan juga digunakan sebagai alat bedah katarak pada mata. Di industri logam laser dengan daya yang sangat kuat juga dapat digunakan sebagai pemotong baja dengan presisi yang sangat tinggi. Dan masih banyak lagi bidang yang memanfaatkan kehadiran laser.

Kalau kita menyimak fungsi sebuah Laser Pointer, yang tampak hanya berkas cahaya dalam arah lurus dan jika mengenai obyek seperti dinding

putih memantulkan warna merah dalam ukuran kecil. Lalu apa bedanya dengan lampu senter?

Cahaya dari lampu senter jelas tidak dapat digunakan untuk memotong baja yang keras itu, mengapa laser bisa. Pasti sinar lasernya panas sekali dan kalau garis potongnya akurat pasti panasnya terkonsentrasi pada wilayah yang sangat sempit. Bagaimana sumber cahaya semacam itu dapat dihasilkan?

Kalau dicermati secara teliti, gelombang memang punya sifat yang aneh. Kita dapat “menambah”kan dua buah gelombang menjadi, satu. Tetapi hasilnya tidak seperti kita berhitung dengan angka. Ada besaran yang kita sebut *fase*. Kalau dua gelombang dengan *fase* yang sama kita jumlahkan, hasilnya menjadi gelombang yang lebih kuat. Tetapi kalau dua gelombang itu fasenya berlawanan, maka kedua gelombang itu saling menghapus, hasilnya tidak ada gelombang. Aturannya tidak seperti $(1+1)=2$, dan $(1-1)=0$. Perbedaan fasenya biasanya diukur dengan ukuran sudut dari 0 hingga 360 derajat, jadi hasil penjumlahannya bisa *merentang antara 0 s/d 2*. Sifat semacam inilah yang dimanfaatkan oleh siaran radio AM. Meskipun panjang gelombang elektromagnetik yang digunakan sebagai “kendaraan pembawanya” tetapi kuatnya dapat dibuat bervariasi mengikuti ayunan lagu yang dibawanya.

Apa yang terjadi pada atom Hidrogen itu ternyata juga berlaku pada benda padat yang terdiri atas sangat banyak atom serupa yang letaknya teratur. Elektron-elektron yang ada pada benda padat itupun energinya tidak boleh bernilai sembarangan, melainkan harus tertata mengikuti aturan yang juga bersifat “quantum”. Tentu saja nilai-nilai energi yang boleh ditempanya berbeda dengan yang ada pada sebuah atom Hidrogen. Apalagi pada sepotong logam itu jumlah elektronnya banyak sekali.

Ada aturan alam yang sangat sederhana yang selalu dapat kita gunakan sebagai pegangan, yaitu bahwa keadaan yang paling di”senangi” adalah keadaan yang membuat energinya serendah mungkin. Meskipun demikian, tidak ditutup kemungkinan bahwa energi yang lebih tinggipun bisa diminati. Untuk kumpulan elektron yang sangat banyak seperti dalam benda padat itu ada semacam pembagian yang ditentukan oleh suhu. Makin tinggi suhunya, makin besar jumlah elektron yang menduduki energi yang bukan paling rendah. Jadi pada energi ruangan (sekitar 20° - 30° C) sebagian elektron menduduki tingkat energi yang di atas, sehingga kalau loncat ke energi di bawahnya akan memancarkan partikel cahaya. Itulah sebabnya logam yang dipanaskan pada suhu yang cukup tinggi akan membara memancarkan cahaya. Sayangnya, masing-masing partikel-cahaya punya *fase-gelombang* yang berbeda-beda. Dipandang dari segi upaya

menghasilkan cahaya, proses semacam itu belum optimum.

Pada kata LASER ada istilah „Stimulated“, maknanya jika pancaran partikel-cahaya itu dipicu oleh pancaran partikel-cahaya yang lain dengan panjang gelombang yang sama maka fase-gelombang partikel-cahaya yang muncul akan tepat sama dengan fase-gelombang pemicunya. Dengan demikian jumlah dari keduanya mencapai nilai paling tinggi. LASER memanfaatkan sifat ini, elektron-elektron yang ada pada nilai energi rendah „dipompa“ agar menempati nilai energi tertentu yang lebih tinggi; lalu dipicu sehingga sejumlah elektron yang sangat banyak secara serentak memancarkan partikel-cahaya dengan fase-gelombang yang sama. Intensitas cahaya yang dihasilkan bisa setara dengan suhu jutaan derajat. Selain itu karena semua partikel-cahaya memiliki panjang gelombang yang sama, maka kalau membias pada lensa masing-masing akan membentuk sudut yang sama (sejajar). Suhu pancar yang setara dengan jutaan derajat dengan sebaran wilayah yang sangat sempit memungkinkan laser dapat digunakan untuk memotong baja.

Tentu saja perlu diingat bahwa rekayasa semacam itu dilakukan tanpa kita dapat melihat obyeknya. Elektronnya tidak dapat dilihat, tatanan nilai energi juga hanya berupa sketsa gambar-gambar yang diberi label bilangan, proses „memompa“ elektron juga tidak dapat disaksikan. Semuanya berlangsung lewat abstraksi, asalkan kita menggunakan anggapan-anggapan maupun proses penalaran yang konsisten.

Pada awalnya proses „memompa“ elektron ke tingkat energi yang lebih tinggi dilakukan dengan cara yang memakan energi jauh lebih besar dari energi yang akan dihasilkan oleh laser hasilnya. Artinya, LASER tidak sesuai jika digunakan sebagai penghasil energi yang efisien. Apa yang dihasilkan adalah sesuatu yang ada manfaatnya, tetapi tidak pernah dapat dikenal dan dihasilkan di masa lalu. Kalau sekarang kita menyimak alat penunjuk „laser pointer“ yang bentuknya kecil sederhana dan harganya murah, itu disebabkan karena telah ditemukan proses „memompa“ elektron dengan cara yang lebih mudah lewat sambungan dua jenis bahan semikonduktor. Tentu saja hasil energi yang dipancarkannya tidak cukup kuat untuk memotong baja, tetapi tetap berguna untuk membuat lekukan-lekukan pada alat penyimpan data digital pada Compact Disc, yang populer sebagai data suara, gambar maupun tulisan saat ini.

Contoh perwujudan dari konsekuensi anggapan-anggapan yang dipakai sebagai titik-tolak bernalar tentang kaitan antara cahaya dengan lukisan perangai elektron dalam atom, membuat kita sukar menyangkal „kebenaran“ anggapan-anggapan yang bagi kebanyakan orang dirasa „tidak masuk akal“ dalam arti tidak sejalan dengan intuisi kita. Lebih-lebih

LASER hanya salah satu dari banyak contoh lain yang hingga saat ini merupakan „dukungan“ terhadap anggapan-anggapan tadi.

Kalau kita mau jujur, „ilmu pengetahuan tentang alam“ itu sendiri dibuat oleh manusia. Informasi-informasinya diperoleh dengan mengandalkan daya nalar manusia ditambah dengan apa yang dapat ditangkap oleh pancaindera manusia. Kitapun sudah disadarkan akan keterbatasan-keterbatasan yang terdapat pada indera kita. Kalau dipetakan lingkup daya jangkau masing-masing indera kita sangat kecil dibandingkan dengan realita yang sebenarnya ada di alam ini. Kalau dahulu kita masih yakin bahwa inferensi logika yang kita gunakan dalam proses bernalar itu merupakan sebuah jaminan kepastian, maka sekarang ternyata kitapun harus mengakui bahwa itu sama sekali tidak benar. Otak kita tidak bisa menandingi proses inferensi logika yang sanggup diwujudkan oleh prosesor mesin komputer kecil yang dapat melakukannya secara berrantai hingga sejuta tahap dalam sedetiknyanya. Otak kita juga sanggup mengingat data sebanyak satu triliun, yang saat ini bisa ditampung dalam kotak yang bisa dimasukkan ke saku baju.

Mestinya kita harus bersyukur bahwa mata kita tidak dapat melihat obyek-obyek seperti elektron atau gelombang elektromagnetik. Seandainya mata kita sanggup melihat itu, alam indah yang kita amati dengan rasa bahagia saat ini tidak lagi tampak seperti itu. Teman-teman akrab kita hanya tampak sebagai ongkongan atom dan molekul dalam konstelasi yang bentuknya cukup ruwet. Lalu lalangnya gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh stasiun-stasiun radio dan televisi, atau oleh kiriman berita SMS dari orang yang satu kepada yang lain begitu banyaknya sehingga bisa membuat kita tidak dapat tidur nyenyak di malam hari.

Jika kita merenung sejenak, bukankah „cahaya“ itu sudah ada sejak ribuan tahun yang lalu? Mengapa baru pada jaman ini hal-hal semacam itu dikenal manusia. Yang kita temukan sesungguhnya bukan sesuatu yang baru, alamnya sama saja tetapi manusianya yang berubah. Dalam perjalanan peradabannya secara bertahap manusia disadarkan akan kenyataan alam yang dianugerahkan kepadanya. Proses penyadaran itupun berjalan setapak demi setapak, bahkan tidak jarang harus melalui proses dialog, bukan hanya antara manusia dengan alamnya, melainkan juga antara manusia yang satu dengan manusia lainnya dalam menanggapi kenyataan yang ada.

Ada kecenderungan bahwa makin banyak kita kenal perangai obyek-obyek alam yang ukurannya sangat kecil, makin berat tanggung jawab sosial yang harus kita hadapi. Ketika kita mengenal perangai bintang-bintang di langit, tidak banyak konsekuensinya terhadap tatanan sosial masyarakat yang terkena dampaknya. Tetapi pengetahuan kita tentang perangai obyek-

obyek alam yang ukurannya kecil membawa konsekuensi yang cukup merisaukan, khususnya karena tubuh manusia sendiri terdiri atas obyek-obyek alam yang kecil ukurannya itu. Saat ini banyak hal-hal tentang perangai alam yang sudah ditemukan tetapi dengan sengaja tidak disebarluaskan informasinya, bukan berdasarkan alasan komersial mengenai jual beli jasa upayanya, melainkan karena kekhawatiran kalau-kalau dipergunakan untuk maksud-maksud yang kurang baik. LASER harus kita hadapi. Ketika kita mengenal perangai bintang-bintang di langit, tidak banyak konsekuensinya terhadap tatanan sosial masyarakat yang terkena dampaknya. Tetapi pengetahuan kita tentang perangai obyek-obyek alam yang ukurannya kecil membawa konsekuensi yang cukup merisaukan, khususnya karena tubuh manusia sendiri terdiri atas obyek-obyek alam yang kecil ukurannya itu. Saat ini banyak hal-hal tentang perangai alam yang sudah ditemukan tetapi dengan sengaja tidak disebarluaskan informasinya, bukan berdasarkan alasan komersial mengenai jual beli jasa upayanya, melainkan karena kekhawatiran kalau-kalau dipergunakan untuk maksud-maksud yang kurang baik.