

Demi Penysadaran dan Literasi Sains: Berkembangnya Definisi Satuan Ohm, yang Berujung ke Gejala Hall Kuantum, dengan Suatu Segi Metafisika

Aloysius Rusli

Jurusan Fisika, FTIS, Universitas Katolik Parahyangan,
Jl. Ciumbuleuit no. 94 Bandung, Indonesia, 40141

arusli@unpar.ac.id

Abstrak

Penysadaran tentang isi sains merupakan syarat perlu, demi manusia dapat menangani peran sains dan teknologi yang makin merasuk ke seluruh kehidupan manusia, agar tidak sekedar terbelenggu oleh sains dan teknologi itu. Penysadaran merupakan langkah awal, yang sebaiknya diikuti dengan pertumbuhan literasi sains dan teknologi. Literasi atau banyak-baca-bermakna, yang menggambarkan pemahaman secara garis besar, di samping pengetahuan umum tentang cukup banyak rincian/detail sains dan teknologi, merupakan pelengkap bagi seorang manusia yang ingin berperan secara utuh dalam masyarakat, dan bukannya sekedar sebagai ahli spesialis yang tidak berminat mengintegrasikan ilmunya ke dalam keutuhannya sebagai manusia. Setelah ditemukannya “sumber” listrik berupa sel listrik kimia atau batere oleh Volta, sebagai upaya Volta membantah kepercayaan Galvani bahwa listrik itu berasal dari makhluk hidup, terkembanglah teknologi komunikasi menggunakan arus listrik itu, dengan abjad Morse; nama teknologi ini adalah “telegrafi”, “menggambarkan” sesuatu melalui jarak yang jauh. Sebagai standar bagi kawat-kawat telegraf yang perlu dipasang melintasi daratan Amerika Serikat, dibuatlah beberapa hambatan listrik standar, yang lalu dinyatakan dengan satuan “ohm”, untuk menghargai Georg Ohm dari Jerman yang menemukan hubungan kesebandingan antara arus listrik dan beda tegangan pada kawat logam. Kemampuan membuat sel listrik yang beda potensial listriknya ternyata berkisar pada 1 volt, kemampuan mengukur-teliti arus listrik yang berkisar pada 1 ampere, mengakibatkan satuan bagi hambatan listrik, “ohm”, memperoleh besarnya seperti yang dikenal saat ini. Akhirnya, dalam rangka meningkatkan ketelitian definisi ohm tersebut dengan kaitan ke tetapan alam, sejak tahun 1990 digunakanlah temuan gejala Hall secara kuantum, untuk menetapkan standar bagi satuan ohm. Laporan studi ini diharapkan dapat menyadsarkan pembaca tentang peran teknologi, peran sains, peran metafisika para ahli, dalam menetapkan definisi dan standar, yang seakurat mungkin bagi satuan hambatan listrik ohm.

Kata-kata kunci: Penysadaran sains, ohm, metafisika

PENDAHULUAN

Penysadaran, yang menghasilkan kesadaran atau *awareness*, dalam belajar dan menguasai fisika, ingin digarisbawahi dalam makalah ini. Pertimbangannya adalah, karena setelah mengajar fisika sejak tahun 1969 di ITB, Bandung, lambat laun tersadari oleh penulis ini, betapa penghafalan akibat kurang berefleksinya para pembelajar fisika, menumpulkan kemampuan mereka untuk menguasai fisika, entah sebagai modal bekerja di berbagai bidang, entah sebagai guru yang perlu mempresentasikan materi fisika secara efektif kepada siswanya.

Berefleksi, berenung, merupakan langkah awal dalam meraih penysadaran. Dengan istilah "berefleksi" penulis ini bermaksud bukannya merenung melayangkan pikiran ke mana-mana (= "melamun"), melainkan "memusatkan perhatian pada suatu pokok pikiran yang dipilih, lalu merelakan pikiran merasuk ke pokok

pikiran itu, menjelajahnya, membuka diri bagi munculnya pikiran apa saja tentangnya, mempertanyakan dan memperdalam serta menyaringnya dengan kritis, agar setelah misalnya 5-10 menit, dapat mulai menata dan menyusun berbagai pikiran yang sempat timbul, dan menarik suatu kesimpulan sementara sebagai hasil perenungan singkat itu". Kesimpulan-kesimpulan sementara itu merupakan modal pengertian, untuk menjumpai materi berikutnya.

Penyadaran tentang isi sains (di sini dianggap serupa saja dengan fisika) merupakan syarat perlu, demi manusia dapat menangani peran sains dan teknologi yang makin merasuk ke seluruh kehidupan manusia. Tanpa penyadaran ini, berbagai peralatan yang makin bertumpu pada sains dan teknologi, hanya akan menjadi alat yang bagaikan alat sihir, dalam menghasilkan hal-hal bagi pemakai. Di satu pihak, jika alat itu suatu saat tak berfungsi, dengan tanpa daya-reparasi si pemakai akan harus menebak-nebak bagaimana memfungsikannya kembali, sebelum lalu biasanya harus terpaksa mencari seorang yang semoga ahli mereparasinya. Ahli reparasi itupun akan tampak sebagai ahli sihir, yang dengan beberapa tindakan lalu berhasil memperbaiki alat itu, atau sekedar menyatakan bahwa alat itu harus diganti dengan yang baru, tanpa mampu memberi pemahaman mengapa perlu diganti itu. Dengan demikian si pengguna alat itu bagaikan terbelenggu tanpa daya, oleh sains dan teknologi itu. Maka sang manusia cenderung menjadi budak peralatannya, bukannya subyek yang menggunakan alat itu bagi perkembangan dirinya sebagai manusia.

Penyadaran ini tentu merupakan langkah awal, yang sebaiknya diikuti dengan pertumbuhan-berkelanjutan berupa literasi sains dan teknologi. Konsep literasi atau "banyak-baca-bermakna", tentang sains dan teknologi, menggambarkan dampak banyak-baca ini, yaitu pemahaman (karena telah direfleksikan) tentang sains dan teknologi secara garis besar, di samping pengetahuan umum tentang cukup banyak rincian/detail sains dan teknologi. Hal ini makin tampak diperlukan, sebagai pelengkap bagi seorang manusia yang ingin berperan secara utuh dalam masyarakat. Tanpa literasi sains dan teknologi, keterbelengguan tersebut di atas akan menghambat supremasi / penguasaan manusia atas peralatannya. Hal terakhir ini penting, agar sang manusia bukan sekedar dapat berperan sebagai pemakai alat, atau tukang, atau ahli spesialis yang tidak dapat mengekspresikan minatnya (karena seperti pekerja atau tukang yang bekerja sebagai rutinitas belaka), tidak dapat mengintegrasikan ilmunya ke dalam keutuhannya sebagai manusia (menjadi seorang yang utuh, seorang cendekiawan/wati). Maksud istilah "keutuhan sebagai manusia" ini adalah, bahwa manusia tidak sekedar ahli spesialis yang hanya mengetahui atau menguasai ilmu dan peralatannya, melainkan juga dapat memerankan pertimbangannya yang bijaksana, dalam memilih cara penggunaan ilmu dan peralatannya, dengan mengacu misalnya pada nilai-nilai luhur yang juga diutarakan dalam Pembukaan UUD 1945 kita.

Penyadaran dan literasi ini telah dikonkretkan melalui berbagai studi [1] tentang bagian-bagian fisika, seperti misalnya satuan-satuan besaran fisika [2, 3]. Hal ini tampak berguna, karena dengan menelusuri asal usul satuan itu, dan upaya para ahli yang mengembangkannya, penyadaran akan peran manusia dalam mengembangkan fisika dapat mulai diapresiasi; dan dengan apresiasi dapat berkembang penyadaran, literasi, dan penguasaan-makin-utuh suatu bidang ilmu tertentu.

Fokus makalah ini adalah tentang asal usul satuan hambatan listrik (resistansi) ohm, definisi dan standarnya, dan suatu pertimbangan tentang segi metafisika yang tersirat dalam studi ini. Dengan "metafisika" diartikan wilayah di luar fisika yang berciri terukur dengan panca indera dan/atau peralatan fisik. Tetapi wilayah metafisika ini dibatasi pada pengetahuan yang masih dapat diraih dengan cara ilmiah, tetapi tanpa perlu mensyaratkan keterukuran dengan panca indera dan/atau peralatan fisik. Yang tetap disyaratkan adalah penyaringan secara nalar dan kritis, serta konsistensi dengan pengamatan dalam arti luas. Wilayah ini juga menjadi lahan "ilmu" filsafat. Ada bedanya: Filsafat tampaknya lebih memperhatikan konsistensi dalam berpikir, bukannya konsistensi dengan hasil pengamatan dalam arti luas.

Wikipedia dan Google banyak digunakan mencari sumber informasi, walaupun biasanya sumber ini agak diragukan kebenarannya oleh para ilmuwan. Penulis menggunakan sumber-sumber dari dua jalur ini, karena tampaknya ketepatan datanya bertaraf cukup tinggi, mungkin ~95an%, sehingga kiranya tetap patut dipergunakan tetapi secara kritis, oleh para guru yang biasanya sulit meraih rujukan tercetak di tempat kerjanya. Dengan makin meluasnya Internet ke pelosok, dua jalur ini menjadi makin mudah dimanfaatkan. Asalkan konsistensi berbagai bacaan dicermati secara kritis oleh pengguna bacaan ini, kiranya manfaatnya masih lebih besar daripada risikonya.

KONSEP HAMBATAN LISTRIK

Luigi Aloisio Galvani (1737-1798) menemukan pada tahun 1780 [4; "Galvani"], bahwa otot katak mati berkontraksi ketika tersentuh pisau logam yang baru digunakannya untuk eksperimen elektrostatika. Maka Galvani menginterpretasikannya sebagai akibat adanya "cairan listrik" yang mengalir dari dalam tubuh katak itu. Akan tetapi Alessandro Volta (1745-1827) yang sama-sama tinggal di Italia [4; "Volta"], kemudian menjadi berbeda pendapatnya, setelah meneliti eksperimen Galvani itu. Pada tahun 1799, Volta lalu sengaja

membuat suatu rangkaian yang terdiri atas dua jenis keping logam, dengan sisipan kertas yang dibasahi dengan air garam. Ternyata otot katak mati berkontraksi juga.

Dengan demikian Volta berhasil membuktikan kepada sesama penelitiannya, bahwa gejala atau arus listrik bukannya berasal dari tubuh hewan saja, dan rupanya sekedar suatu proses kimiawi saja; tanpa perlu melibatkan konsep "kehidupan". Volta kemudian dikenal dengan "deret Volta"-nya, yang mengurutkan berbagai zat menurut kemampuannya menghasilkan beda potensial listrik yang lalu dapat menggerakkan arus listrik. Setelah Volta melaporkan "sumber" listrik berupa sel listrik kimia atau baterai itu dalam suatu surat kepada Presiden *Royal Society* di London pada tahun 1800, berkembang pesatlah sains dan teknologi komunikasi menggunakan baterai dan arus listrik itu. Ini menunjukkan kemampuan manusia untuk menyadari kesempatan merealisasi manfaat suatu ilmu, dan bagaimana memanfaatkannya menjadi sesuatu yang berguna bagi kebutuhan konstruktif dalam masyarakat.

Sejak tahun 1836, tiga orang Amerika Serikat [4; "Morse Code"] mengembangkan suatu penggunaan arus listrik untuk mengirimkan berita melalui sepasang kawat logam; telah lahir bidang ilmu dan teknologi telegrafi, dengan alat yang disebut telegraf, yang mengirimkan berita telegram ("gambar yang dikirim ke jarak-jauh"). Ketiga orang itu adalah pelukis dan penemu Samuel Finley Breese Morse (1791-1872), ahli fisika Joseph Henry (1797-1878), dan ahli mesin dan penemu Alfred Lewis Vail (1807-1859). Henry menyumbangkan temuannya berupa elektromagnet yang dapat menggerakkan sebuah jarum logam untuk menandai sepita kertas, Morse dan Vail akhirnya berhasil menciptakan suatu kode digital yang menggunakan hanya dua tanda: garis pendek ('dot') dan garis panjang ('dash') yang kemudian dikenal sebagai abjad Morse. Vail juga berperan meningkatkan efisiensi peralatan, cara-rekam-berita dsb. Sebenarnya di Inggris, pada tahun 1837, Sir William Fothergill Cooke (1806-1879) dan Sir Charles Wheatstone (1802-1875) juga berhasil mengembangkan sistem telegraf yang agak berbeda, sampai dapat digunakan oleh masyarakat melalui suatu perusahaan yang mereka dirikan, tetapi sistem telegraf ini kalah bersaing dengan sistem Morse-Vail. Di sini tampak betapa suburnya hasil gagasan dan karya manusia, jika direlakan didukung oleh kebebasan dan kreativitas manusia. Secara metafisis, dapat juga disimpulkan dari perkembangan beberapa sistem telegrafi ini, bahwa manusia jelas berkehendak bebas, bukannya sekedar robot yang tinggal menjalani takdirnya.

Sebagai standar, yaitu ukuran yang andal, tetapi praktis dan mudah digunakan, bagi kawat-kawat telegraf yang perlu dipasang melintasi daratan Amerika Serikat yang selebar bentangan timur ke barat Indonesia (~5,1 Megameter), dibuatlah beberapa hambatan listrik standar [4; "Ohm Unit"], misalnya "satuan tembaga Jacobi" yang digunakan pada tahun 1850an, berupa kawat tembaga (massa jenisnya $8,92 \text{ g/cm}^3$) sepanjang 25 kaki (1 kaki ~300 mm; jadi 25 kaki ~ 7,5 m = 750 cm) dan bermassa 345 *grain* (1 *grain* = 64,798 91 miligram, ~massa sebutir beras atau gandum; jadi 345 *grain* ~ 22,4 gram). Maka garis tengah kawat tersebut dapat disimpulkan ~0,65 mm. Dalam satuan ohm saat ini, hambatan "ohm Jacobi" itu besarnya 0,636 7 ohm. Karena perusahaan telegraf masing-masing condong membuat standarnya sendiri, terjadi kesulitan dalam saling membandingkan kawat-kawat yang digunakan. Makin makin terasa perlu menyepakati satuan hambatan listrik yang disepakati bersama, yang "baik".

Konsep hambatan listrik ini ditemukan secara empiris lalu digunakan sebagai model matematis oleh Georg Simon Ohm (1789-1854) di Jerman [4; "Georg Ohm", 5]. Dia mempelopori pola kerja fisika di Jerman, yang di samping mengandalkan hasil pengukuran empiris dengan peralatan, juga memanfaatkan teori yang dapat menghasilkan perhitungan matematika dengan besaran-besaran empiris yang diukur. Ohm menemukan hubungan kesebandingan antara arus listrik dan beda tegangan pada suatu kawat logam. Ditemukannya bahwa konsep hambatan listrik, yaitu nilai perbandingan beda tegangan dengan arus listrik terkait, cukup konstan bagi kawat logam berjenis dan berukuran tertentu. Ditemukannya pula bahwa hambatan listrik ini sebanding dengan panjang kawat, dan berbanding terbalik dengan luas penampang kawatnya. Selanjutnya diamatinya pengaruh besarnya beda tegangan, dengan menggunakan termokopel temuan tahun 1821 oleh Thomas Johann Seebeck (1770-1831) dan tahun 1834 oleh Jean Charles Peltier (1785-1845). Gejala termolistrik diamati, jika digunakan dua jenis kawat logam yang saling dihubungkan kedua ujungnya, dan suhu sambungan-sambungan itu berbeda. Ternyata perbedaan suhu kedua sambungan kawat-kawat itu sebanding dengan arus listrik yang timbul dalam rangkaian dua kawat itu, jadi juga sebanding dengan beda tegangan tersebut di atas. Kuat arus listrik diukurnya dengan mengukur besar penyimpangan suatu jarum kompas dari arah Utara-Selatan, ketika ditempatkan dekat kawat berarus yang mau diukur. Dihasilkanlah oleh Ohm, rumus termasyhurnya $\Delta V = R i$, di samping temuan sifat, bahwa hambatan R sebanding dengan panjang kawat, dan berbanding terbalik dengan luas penampang kawat. Dia juga menguji rumusnya itu secara matematis, dengan memanfaatkan uraian deret ciptaan Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), dengan meninjau model kawat yang berbentuk tidak lurus/seragam, dan rupanya berhasil menemukan bahwa hambatan total model kawat itu juga sesuai dengan rumus sederhananya itu. Karena itu Ohm mengutip ucapan F A C Gren di universitasnya di Erlangen dekat Berlin, bahwa "obor matematika" telah dapat menerangi jalan perkembangan fisika [5]. Hasil temuannya ini, dipublikasikan

berbentuk buku oleh Ohm pada tahun 1827, tetapi pencetaknya meminta Ohm membiayai publikasi itu, karena tidak yakin akan mampu menjualnya.

Ternyata para guru besar fisika Jerman yang oleh Ohm diberi bukunya itu untuk dikomentari, tidak sependapat dengan Ohm, dengan menyebut bahwa temuan Ohm itu bukan fisika melainkan sekedar matematika. Baru setelah Ohm mulai dihargai oleh himpunan fisika Inggris dengan medali Copley pada tahun 1841, akhirnya, 2 tahun sebelum meninggalnya, Ohm disetujui menjadi guru besar fisika di München.

MENUJU SATUAN OHM

Satuan hambatan listrik dapat dipilih dengan beberapa cara. Suatu kriterium yang dipandang baik adalah, agar satuan hambatan ini koheren, artinya pemakaian satuan besaran ini dalam rumus-rumus perhitungan konsisten dengan koefisien 1 saja, contohnya $F = m a$ (dan bukannya misalnya $F = 100 m a$); $\Delta V = R I$ (bukannya misalnya $\Delta V = 2/3 R i$). Dengan demikian tidak diperlukan tambahan faktor konversi, ketika hendak dihitung energi atau daya listrik yang dihasilkan satuan hambatan dan satuan tegangan listrik tertentu.

Berdasarkan definisi potensial listrik sebagai energi potensial listrik per satuan muatan listrik ($V = E_{\text{PL}}/Q$), dan realita bahwa usaha melawan gaya listrik dapat diambil sama dengan penambahan energi potensial listrik ($F_L \Delta x = -\Delta E_{\text{PL}}$), diperoleh bahwa daya P usaha itu, yang didefinisikan sebagai penurunan energi listrik per satuan waktu, dapat ditulis $= q \Delta V / \Delta t$ atau $P = i \Delta V$; yang dengan temuan empiris Ohm, $\Delta V = R i$, menghasilkan $P = R i^2$ dsb. Tinggallah didefinisikan secara koheren bagi persamaan ini, satuan bagi muatan listrik.

Ada beberapa cara melakukan ini. Cara yang semula dipilih adalah cara "CGS-elektrostatika" ("cm-g-sekon"), yang beracu pada rumus bagi Hukum Coulomb $F = Q^2/r^2$ (yang tampak sudah dibuat berbentuk koheren). Jelas satuan muatan bagi Q^2 adalah dyne cm^2 . Dari Hukum Kedua Newton, 100 kilodyne (satuan CGS) = 1 newton (satuan SI). Kalau ini diterapkan pada $P = R i^2$ di atas, diperoleh satuan bagi hambatan listrik R , $\text{erg}/(\text{sekon dyne cm}^2 / \text{sekon}^2) = \text{s/cm}$; karena satuan energi $\text{erg} \equiv \text{dyne cm}$. Maka satuan R adalah kebalikan satuan laju. Memang pernah diajukan usul agar satuan koheren dalam sistem CGS-elektrostatik bagi $R = 1/(10^8 \text{ cm/s})$, ataupun satuan bagi admitansi $G \equiv 1/R$ adalah 10^8 cm/s . Dengan demikian satuan listrik R ini terdefiniskan seperti halnya meter sejak akhir abad ke 18, yaitu dengan, "Seperempat keliling Bumi $\equiv 1$ Megameter atau 10^8 cm ". Satuan R ini tertampil secara keliru, yaitu terbalik, dalam Wikipedia [6]. Karena itu Wikipedia, walau menjadi sumber informasi yang mudah dicapai dan berguna sekali, tetapi tetap perlu dibaca secara kritis, karena kadang-kadang masih terselip kekeliruan seperti contoh ini.

Cara yang kemudian dipilih adalah satuan ampere untuk arus listrik, karena lebih sesuai dengan sistem MKS (m-k-g-s) yang lebih praktis bagi industri, dan lebih andal pula realisasinya, karena bukan seperti muatan listrik yang ternyata mudah membocor dari benda-benda yang bermuatan listrik, terlebih jika udara sedang lembab. Satuan arus listrik ampere didefinisikan sebagai arus yang menghasilkan gaya antara dua kawat listrik tipis-lurus-panjang-sejajar berarus listrik, sebesar 200 nanonewton per meter kawat [7]. Besarnya gaya ini $100 \times$ lebih kecil daripada gaya 2 dyne (lihat pasal di bawah ini). Ini diakibatkan pilihan besarnya 1 ampere, yaitu sebesar 1/10 besarnya 1 ab-ampere dalam sistem CGS-elektromagnetik tersebut di atas. Pilihan ini timbul karena dari persamaan $P = R i^2$ di atas, 1 ab-ampere akan mendidihkan 1 gram air dalam ~ 4 detik, artinya arus listrik itu terlalu besar bagi proses eksperimen di laboratorium. Dengan pilihan besarnya ampere, 1 gram air akan mendidih baru setelah ~ 400 detik.

Dengan demikian satuan bagi muatan listrik menjadi satuan turunan (bukan lagi satuan dasar), yaitu ampere detik (A s) yang mengingat sejarahnya lalu telah diberi nama "coulomb, disingkat C". Satuan bagi tegangan listrik menjadi joule per coulomb yang lalu mengingat sejarahnya dinamakan volt ($V, = J/C = J/(A s)$), dan satuan bagi R menjadi volt per ampere (V/A) yang mengingat sejarahnya lalu disebut ohm (Ω ; tadinya, pada masa awal komputer personal, ketika belum tersedia simbol omega ini di komputer, digunakan juga huruf W, yang jelas dapat menimbulkan kebingungan karena sama dengan simbol bagi watt) [4; "*ohm unit*"].

PERTIMBANGAN "PRAKTIS"

Pilihan 200 nanonewton untuk mendefinisikan satuan ampere menunjukkan asal usulnya dari sistem satuan CGS-elektromagnetik [7], yaitu bahwa di situ dipilih gaya sebesar 2 dyne pada kawat tipis logam saling sejajar berarus listrik, sepanjang 1 cm. Gaya 2 dyne setara dengan berat butir pasir sebesar 2 miligram. Rupanya itu masih dalam batas kemampuan menimbang gaya di pertengahan abad ke 19. Besar arus ampere yang menimbulkan gaya sebesar itu merupakan besar arus listrik yang masa itu sanggup diproduksi dengan

sel listrik Volta yang beda tegangannya sekitar 1 volt (dalam satuan baru ini) dan kawat logam biasa. Dengan rumus koheren Ohm: $\Delta V = R i$ dapat dirumuskan dan disyaratkan bahwa beda tegangan 1 volt melalui kawat 1 ohm menghasilkan arus 1 ampere. Tetapi ternyata kalau 1 coulomb hendak direalisasi, muncul masalah: Berdasarkan Hukum Coulomb, sebuah bola logam yang diinginkan menampung 1 coulomb, dalam udara (kekuatan dielektriknya ~ 3 MV/m) [4; "*dielectric strength*"] harus berjari > 54 meter! Maknanya, jika jari bola lebih kecil dari itu, tolak menolak antar elektron atau tarik menarik antara elektron dengan inti atom logam mampu melepaskan (mengionisasi) molekul udara, yang berdampak bahwa muatan bola logam akan berkurang ("bocor"). Kalaupun udara dipompa-pergi, dan dicapai "*high vacuum*" $< 0,1$ pascal, yang 100 kali di atas kemampuan mem"vakum" pada tahun 1855 (yang baru sampai taraf ~ 10 Pa), kekuatan dielektrik udara maksimal 40 MV/m, dan jari bola logam penampung 1 coulomb masih haruslah > 15 meter. Jadi satuan coulomb sulit direalisasi penghimpunannya; dengan perkataan lain, satuan ini sebenarnya tak "praktis", terlalu besar. Akan tetapi arus 1 ampere, tegangan 1 volt, amat "praktis", sudah mampu diproduksi pertengahan abad ke 19. Karena itu satuan ampere, volt, dan ohm tetap menjadi pilihan bagi sistem satuan yang "praktis", yang koheren dengan sistem MKS (meter-kilogram-detik) dan pada tahun 1960 sistem ini diberi nama "Sistem Internasional" (S.I.) bagi satuan-satuan. Maka agar dimudahkan merealisasi satuan volt dan ampere serta ohm itu, demi kepraktisan dan keperluan industri, dibuatlah standar yang didasarkan pada definisi teoretis ampere, volt, dan ohm itu.

Tampak dari kisah di atas, peran manusia yang bebas memilih, bebas bersepakat, dan akhirnya tampak mampu memilih bentuk yang konsisten, memuaskan kebanyakan pihak, dan tidak menimbulkan rasa ketidakadilan atau keberpihakan yang terlalu besar. Rupanya semangat keadilan dan kepentingan/kebaikan bersama (*the common good*) telah berperan di balik semua ini. Jelas ungkapan terakhir ini merupakan ungkapan metafisis, karena sulit dibuktikan kebenarannya secara kuantitatif.

DEFINISI DAN STANDAR BAGI OHM

Definisi satuan ohm sudah disimpulkan adalah volt per ampere (V/A), didasarkan pada rumus temuan Ohm yang sudah ditulis secara koheren (hanya ada koefisien 1 dalam rumusan $\Delta V = R i$). Tetapi merealisasi volt sebagai joule per coulomb terbentur pada besarnya jumlah 1 coulomb itu; tidak praktis-realistis melakukannya.

Maka pada tahun 1860 prajurit dan penemu serta kemudian industriwan [4; "Werner Siemens"] Ernst Werner von Siemens (1816-1892) mengusulkan standar bagi hambatan 1 ohm berupa sebuah tabung berluas penampang 1 mm^2 pada 0°C berisi raksa (Hg) setinggi 1 meter. Sebelum ini, pak Siemens ini pada tahun 1847 berhasil mendirikan perusahaan telegraf dan peralatan listrik Siemens yang sukses, sehingga menghasilkan gelar bangsawan (ditandai dengan penambahan kata "von" pada namanya) bagi dirinya 40an tahun kemudian. Nama Siemens kelak akan digunakan untuk satuan SI bagi admitansi (kebalikan dari resistansi – hambatan listrik).

Sayangnya kemudian standar Siemens yang sudah bagus definisinya ini, ternyata menghasilkan besarnya hambatan yang agak terlalu rendah, yaitu 0.953 7 ohm, jika ingin konsisten dengan rumus Ohm yang sudah koheren itu. Hal itu ditemukan setelah himpunan ilmuwan/profesional *British Association* (B.A.) menugaskan William Thomson/Lord Kelvin, Maxwell, dsb pada tahun 1861 untuk sebagai suatu tim, meneliti dan mengusulkan suatu standar yang lebih mendasar, dan setelah 3 tahun bekerja dan melaporkan kemajuan, tim ini menghasilkan rekomendasi standar ohm yang konsisten dengan persamaan Ohm dan persamaan-persamaan Maxwell, sehingga bersifat koheren dan "mutlak" serta "praktis", yaitu bahwa "1 ohm = 10^9 ab-ohm", dengan standar berupa seperangkat kawat pada tahun 1863. Satuan ab-ohm (*absolute ohm*) didasarkan pada sistem CGS-elektromagnetik yang bertitik-tolak dari rumusan gaya antara dua kawat tipis berarus listrik, yang dikoherenkan yaitu $F = 2 I I'/r$ [7]. Angka 2 adalah dampak perhitungan matematika, jadi terpaksa diakomodasi oleh konsep "koheren" itu. Jika dikaitkan dengan standar ohm oleh Siemens, tinggi kolom Hg satuan ohm versi B.A. ini adalah 104.7 cm.

Standar tabung raksa sedemikian praktisnya, sehingga tahun 1893 di *International Electrical Conference* di Chicago, "ohm Internasional" disepakati berdasarkan standar tersebut, dengan kolom Hg diteliti menjadi 106,3 cm, dengan massa Hg = 14,452 1 gram pada 0°C . Jadi pengendalian keseragaman penampang tabung dibantu dengan menetapkan berapa gram massa raksa itu.

Pada tahun 1948, *CGPM* (Konferensi Internasional tentang Berat dan Ukuran) di Sèvres di tepi Paris [8], menetapkan ohm sebagai satuan turunan yang besarnya = volt per ampere. *CGPM*, sebagai lembaga dengan kewenangan tertinggi untuk menetapkan hal ihwal satuan-satuan fisika, disepakati dibentuk dengan Konvensi Meter pada tahun 1875. Indonesia menandatangani Konvensi Meter pada tahun 1960, dan dengan demikian dapat hadir di *CGPM*, dan menjadi anggota BIPM (Biro Internasional tentang Berat dan Ukuran). Biro ini bertugas menunjang peran *CGPM*. Pada 27 April 2015, tercatat 57 negara menjadi anggota BIPM ini.

Agak lebih dari 40 tahun kemudian, pada tahun 1990 [9], gejala Hall pada tataran kuantum (*QHE*, *Quantum Hall Effect*) disepakati sebagai standar yang lebih teliti bagi ohm. Hal ini didasarkan pada temuan gejala itu oleh Klaus von Klitzing dari Jerman pada tahun 1980, setelah diramalkan secara teoretis (sambil masih meragukan kebenaran realitasnya) oleh Ando, Matsumoto, dan Uemura tahun 1975. Gejala *QHE* menampilkan suatu "hambatan" listrik R_H berupa perbandingan suatu beda tegangan dengan suatu arus listrik, yang besarnya mengait pada dua konstanta alam, yaitu tetapan Planck dan muatan sebuah elektron: R_H ternyata ditemukan oleh Klitzing, sebagai eksak $= (h/e^2)/n$, dengan $n = 1, 2, 3, \dots$, yang berarti ada sifat kuantum pada gejala ini. Koefisien h/e^2 itu disebut tetapan Klitzing yang nilainya jelas juga suatu tetapan alam, sehingga amat terandalkan sebagai tumpuan mantap bagi suatu standar satuan. Besarnya 25, 812 807 557(18) k Ω , jadi sekitar 26 kiloohm; nilai yang agak mudah dikelola. Bilangan 18 dalam kurung itu menandakan ketakpastian dua angka terakhir 57 dalam nilai tetapan Klitzing ini. Artinya angka-berarti tetapan Klitzing ini 9 buah! Ini menandingi tingkat ketelitian-ketakpastian satuan meter, yang ditumpukan pada tetapan laju rambat cahaya dalam hampa (299,792 458 Mm/s, tepat 9 angka penting). Dengan *QHE*, besarnya 1 ohm "mudah" diperoleh secara amat teliti; tinggal memilih tataran $n = 5$ untuk memperoleh suatu besar hambatan yang cukup (~10%) dekat pada 1 ohm, sehingga lalu besar 1 ohm, dapat dicapai dengan jembatan Wheatstone dsb.

Tampak pula, betapa besar peran pilihan yang dilakukan manusia dalam menetapkan satuan-satuan ini!

METAFISIKA: ILMU DAN IMAN

Kiranya uraian di atas menunjukkan bagaimana cara ilmiah digunakan para ahli, untuk memilih dan menguji definisi dan standar satuan ohm. Selain itu akan juga dapat diamati betapa besar peran kepercayaan dalam cara ilmiah itu. Para ahli terpaksa saling percaya, karena tak mungkin setiap ucapan seorang ahli diuji dan diperiksa keabsahannya sendiri oleh masing-masing ahli. Para ahli terpaksa berpijak pada kepercayaan akan ucapan rekan-rekannya, tetapi kepercayaan itu memang setiap saat diuji melalui syarat "konsistensi" konsekuensi-konsekuensi kepercayaan itu dengan hasil pengukuran selanjutnya. Kalau mulai ditemukan ketakkonsistenan antara hasil perhitungan berdasarkan kepercayaan akan laporan para rekannya, seorang ahli akan meningkatkan kewaspadaan dan upayanya, dengan mengulang dan menelaah makin teliti, dan kalau akhirnya terpaksa menyimpulkan bahwa tidak dapat ditemukan konsistensi tersebut, mulai dilakukan penelaahan akan apa yang telah dipercaya itu, dan seperlunya, kalau ditemukan gagasan yang dapat menjadi pengganti kepercayaan itu, yang selain tetap konsisten dengan seluruh ilmu yang sudah ditemukan, juga dapat meramalkan hal baru, maka kepercayaan itu dapat saja digantikan dengan kepercayaan yang baru, dalam arti gagasan baru itu menggantikan atau menyempurnakan gagasan, kepercayaan yang lama.

Cara mengungkapkannya cara ilmiah seperti di atas, dimaksudkan untuk menampilkan keparalelan antara cara ilmiah dengan cara metafisika, yang telah disebutkan di PENDAHULUAN di awal laporan ini. Selanjutnya, lalu juga dapat dicatat, bahwa cara metafisika, yang menangani hal-hal yang tidak dapat diukur, paralel pula dengan cara yang digunakan oleh seseorang yang mengimani / mempercayai sesuatu, seperti percaya kepada Allah, percaya pada suatu agama, percaya pada seseorang, dsb. Cara kerja beberapa kepercayaan ini dapat dikatakan sebagai amat serupa dengan cara ilmiah, dengan perbedaan "hanya" pada ketiadaan kemampuan mengukur hasil hipotesis dan pemikirannya secara kuantitatif. Perlu dikerahkan intuisi, rasa, "indera keenam" dsb, untuk menebak dan memutuskan konsisten atau tidak konsistennya suatu hasil penalaran dengan hal-hal yang sempat diamati.

Maka kalau kita mengenali keselarasan cara ilmu dan cara metafisis/iman ini, dapatlah dihipotesiskan, bahwa:

1. Keseluruhan eksistensi jagad raya ini, mungkin dapat dipahami selain melalui cara kerja teknis-terukurnya dengan cara ilmiah (~"bagaimana", "how"), juga melalui makna dan "tujuan" serta "pesan" (~"mengapa", "why") yang tersirat dan tak terukur (sejauh tampak saat ini) itu.

Eksistensi jagad raya yang demikian indah-nyaman-hangatnya di Bumi ini (bagi manusia), tetapi demikian luas dan dingin serta berisikonya bagi manusia jika mencoba meninggalkan Bumi, juga dapat ditelusuri secara metafisika-imani, dengan cara refleksi-intuisi-rasa-indera keenam itu.

2. Sebagai kriterium pembenaran, dapat diajukan hipotesis bahwa "konsistensi" merupakan pendekatan ampuh bagi penyaringan kesimpulan-kesimpulan kita.

Kalau kita menganut 2 hipotesis ini, kiranya juga dapat disimpulkan, bahwa keselarasan cara ilmiah dan cara imani ini mungkin telah ditanamkan Allah (suatu kepercayaan metafisis, karena tak dapat dibuktikan secara terukur) pada jagad raya ini, agar budi manusia melalui cara ilmiah terbimbing menuju cara imani, dan melalui interaksi konstruktif antara kedua cara itu, suatu "dialog" antara mereka, manusia dengan demikian mencapai keutuhan dirinya sebagai manusia yang bukan hanya ilmiah melainkan juga mengakui dan mampu menelusuri secara metafisika, tujuan dirinya sebagai seorang manusia utuh [10].

Sebagai catatan akhir, sikap seperti itu akan jauh dari sikap yang diajukan oleh paham atau ideologi "saintisme" (*scientism*), yang bertitik tolak dari asumsi bahwa jagad raya ini hanya perlu dimaknai secara ilmiah, dan segala hal yang metafisis, dianggap sebagai tidak ada maknanya. Kiranya ideologi seperti itu terlalu sederhana, karena membatasi diri hanya pada cara ilmiah; padahal jelas (metafisis, karena tak terukur) ada cara-cara kerja manusia yang juga baik walau tidak ilmiah; seni, budaya, misalnya.

Tetapi memang, 2 hipotesis/asumsi yang telah diajukan di atas, yaitu bahwa cara ilmiah dan cara metafisika dapat saling menunjang, dalam rangka menuju ke pemahaman utuh jagad raya / alam semesta ini, sama-sama tidak dapat dibuktikan secara terukur, bahwa itu memang benar. Karena itu, sikap yang lebih baik adalah, mengakui kepluralan sikap, pendapat, dan cara dalam mengartikan jagad raya ini; dan senantiasa bersedia berdialog tentang masing-masing sikap, pendapat, dan cara tersebut, dalam suasana yang menghargai martabat manusia. Pemaksaan suatu kepercayaan, tampak tidak konsisten dengan ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Melalui penelaahan suatu masalah fisika, yaitu lika liku pendefinisian dan realisasi satuan hambatan listrik yang disebut ohm, telah dicoba ditunjukkan bahwa tersirat dalam penelaahan ini, dapat tampak adanya keselarasan antara cara ilmiah itu dengan cara metafisika yang mencakup juga cara pendalaman imani dan cara pendalaman agama. Keselarasan ini membukakan pintu bagi pengajuan hipotesis, bahwa keselarasan ini mungkin memang dirancangkan oleh Sang Pencipta jagad raya ini, agar mahluk utama ciptaanNya itu terbimbing melalui hal yang konkret dan terukur, menuju hal yang lebih kompleks yang tidak lagi terukur, tetapi dengan sudah terlengkapi oleh kemampuan bercara ilmiah. Selain itu, telah diajukan hipotesis bahwa konsep "konsistensi dengan hasil pengamatan (terukur maupun tak terukur)", baik dalam ruang maupun dalam waktu, kiranya dapat dijadikan kriterium untuk menetapkan tingkat kebenaran suatu pendapat atau kesimpulan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Laporan studi ini diharapkan dapat menyadarkan pembaca tentang bagaimana peran teknologi, peran sains, peran metafisika para ahli, dalam menetapkan definisi dan standar, yang seakurat mungkin bagi satuan hambatan listrik ohm. Selanjutnya diharapkan dapat disadari bahwa 2 hipotesis lanjutannya, yaitu:

1. Indikasi patutnya mengadakan dialog konstruktif antara ilmu dan iman,
2. Konsistensi dengan hasil pengamatan, sebagai kriterium untuk menakar kebenaran suatu kesimpulan metafisis, patut dipertimbangkan dan ditelaah kekonsistennya.

Suatu saran adalah, untuk mempertimbangkan dan menelaah lebih lanjut kesimpulan ini, demi meningkatkan integritas diri kita sebagai manusia dalam jagad yang fisis maupun metafisis ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, atas dukungan finansialnya pada penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Panitia Seminar Kontribusi Fisika, yang menerima baik dipresentasikannya makalah ini tanggal 16-17 Desember 2015 di Institut Teknologi Bandung. Terima kasih juga diucapkan kepada prof. Benny Suprpto dan Dr Paulus Karta Widjaja, serta kepada seorang peserta Seminar Kontribusi Fisika 2015 ini, yang telah mengajukan pertanyaan "apakah direkomendasikan salah satu dari dua cara itu, atau paduan dari dua cara itu?". Pertanyaan itu mengungkapkan suatu esensi pada makalah ini, yaitu menyiratkan hipotesis bahwa kiranya kedua cara itu, cara ilmiah dan cara metafisis, bukannya saling bertentangan, bukannya saling independen, melainkan sebaiknya saling tunjang, dalam rangka meraih pemahaman yang lebih utuh tentang jagad raya ini, posisi manusia dalamnya, serta tujuan eksistensi sang manusia beserta keseluruhan umat manusia ini. Kiranya Kesimpulan dan Saran di atas telah mengindikasikan pula jawab atas pertanyaan tersebut, serta esensi makalah ini.

REFERENSI

1. A. Rusli. *Fisika Dasar sebagai sarana penyadaran tentang sains dan cara ilmiah: Suatu studi*. SEMINAR NASIONAL FISIKA, HFI-LIPI, Serpong, 12-13 Juli 2011. Prosiding, 782-789 (2011)
2. A. Rusli. *Asal-usul dan rencana pengembangan Sistem Internasional (S.I.): Suatu Studi*. SEMINAR NASIONAL FISIKA, HFI-LIPI, Serpong, 12-13 Juli 2011. Prosiding, 774-481 (2011)
3. A. Rusli. *Fundamental Metrology: Its Significance for Scientific Awareness in Higher Education*. Applied Mechanics and Materials **771** (2015) 187-190 (2015)
Submitted: 2014-08-08. ©(2015) Trans Tech Publications, Switzerland.
Revised: 2015-02-05 doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.771.187
4. Don Rittner. *Notable Scientists – A to Z of Scientists in Weather and Climate*. Infobase Publ. Facts on File, NY (2009); berbagai informasi dalam Wikipedia (kata kunci terkait disertakan di perujukan)
5. Christa Jungnickel & Russell McCormach. *Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein. 1. The Torch of Mathematics – 1800-1870*. Springer, Köln (2000)
6. Wikipedia. *Satuan Ohm*. <https://en.wikipedia/wiki/Ohm>. Diakses 11 Januari 2016
7. A. Rusli. *Demi penyadaran ilmu dan literasi sains: Mengapa permeabilitas vakum tepat sama dengan $0,4 \pi$ mikrohenry per meter?* SIMPOSIUM FISIKA NASIONAL KE 28, 23-25 November 2015 di Kendari, Sulawesi Tenggara. Prosiding (sedang dalam proses diterbitkan) (2015)
8. BIPM. *The New S.I.* (2015) www.bipm.org. Diakses 29 Oktober 2015
9. A. Rusli. *Untuk Kesadaran Ilmu dan Ilmiah: Satuan Hambatan Ohm dan Efek Hall Kuantum*. SIMPOSIUM NASIONAL INOVASI PEMBELAJARAN DAN SAINS (SNIPS) 2012. 7-8 Juni 2012, ITB, Bandung. Prosiding, 9-12 (2012).
10. A. Rusli. *Dialog Ilmu dan Iman: Suatu pendekatan dan cara realisasinya*. Integral 11:(2), 63-77 (2013)