

Mengapa Definisi Satuan Arus Listrik Dikaitkan dengan Gaya Dua Ratus nanonewton? – Interaksi Ilmu dan Industri dalam Menetapkan Satuan ampere

Aloysius Rusli

Jurusan Fisika, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains,
Universitas Katolik Parahyangan, Jl Ciumbuleuit 94, Bandung, Indonesia, 40141

arusli@unpar.ac.id

Abstrak

Melanjutkan laporan sebelumnya tentang asal usul pendefinisian tetapan magnetik ataupun permeabilitas vakum μ_0 , dilaporkan hasil penelusuran asal usul bilangan 200 nanonewton yang dipilih pada definisi satuan ampere dalam Sistem Internasional. Ternyata definisi itu berawal dari satuan arus listrik (ab-ampere) dalam sistem satuan CGS elektromagnetik, yang memilih cara mekanika dengan pengukuran gaya pada dua kawat tipis sejajar berarus listrik sebagai cara termudah dan lebih “mutlak” (absolut) menetapkan satuan untuk arus listrik. Kemudian ternyata bahwa proses industri yang banyak menggunakan mesin uap, lebih dekat pada sistem satuan MKS yang bersatuan energi joule. Ketika kemudian tegangan sel listrik Volta dipilih sebagai ukuran bagi satuan potensial listrik, disimpulkan bahwa satuan arus listrik yang sesuai perlu 10 kali lebih kecil daripada ab-ampere. Pertimbangan-pertimbangan ini dapat digunakan di pembelajaran fisika, untuk menunjukkan bahwa upaya mengembangkan ilmu dan industri, telah saling berpengaruh sejak abad ke 19 dalam mencapai kesepakatan yang optimal.

Kata-kata kunci: Sistem Internasional, satuan ampere, interaksi ilmu-industri

PENGANTAR

Fisika yang dipelajari di jenjang sekolah menengah sampai ke perguruan tinggi, umumnya tetap dipandang penting, sebagai latar belakang pengetahuan tentang perkembangan ilmu dan teknologi yang terus berkembang dengan pesat. Ternyata ilmu fisika, yang diperoleh dengan cara pengamatan dan pemikiran-teruji tentang alam semesta, tersusun menurut suatu struktur berlapis-lapis. Maka seringkali dialami bahwa latar belakang pernyataan-pernyataannya tidak lagi sempat disadari. Dari segi teknis, hal ini mungkin dipandang kurang penting, tetapi untuk seorang manusia-utuh, sebagai warga negara, apalagi jika menjadi wakil rakyat, kesadaran [1] tentang latar belakang / informasi sejarah ini dapat menunjang kebijaksanaan putusan yang perlu dipilih. Kesadaran ini, kalau sudah tertopang oleh cukup banyak informasi, biasa disebut sebagai literasi (*literacy*) atau kesadaran-kepemahaman tentang sesuatu (dalam hal ini sains dan cara ilmiah) berkat banyak membaca dan berefleksi [2]. Literasi (cara) ilmiah akan menunjang daya analisis seseorang menghadapi berbagai perkembangan sains dan peristiwa yang dialaminya. Literasi sains/ilmu (yang lebih tentang konsep dan materi ilmu) merupakan salah satu hasil literasi ilmiah yang penting, yang dapat menunjang seseorang ketika ingin menganalisis apakah suatu informasi itu berupa *hoax* saja (sesuatu yang sedang hangat dibahas saat-saat ini), atau apakah memang ada esensi yang mungkin ada benarnya.

Dalam rangka menambah kesempatan mengokohkan literasi ilmiah dan literasi ilmu/sains, suatu laporan sebelumnya [3] dilanjutkan di sini. Laporan tersebut [3] menguraikan tentang asal usul pendefinisian tetapan magnetik ataupun permeabilitas vakum μ_0 . Makalah ini hendak menampilkan uraian untuk menjawab

pertanyaan yang dijadikan judul makalah ini: Mengapa untuk definisi satuan arus listrik ampere (dalam Sistem Internasional, S.I.), gaya pada dua kawat sejajar berarus listrik, dipilih besarnya 200 nanonewton (atau 0,2 mikronewton = $0,2 \mu\text{N} = 200 \text{ nN}$), mengapa bukan lebih sederhana 1 dyne (10 mikronewton) atau 100 nN atau bilangan lain yang menggunakan angka satu saja?

Manfaat pengetahuan latar belakang sejarah ini adalah, bahwa lalu tampak betapa pergulatan pikiran dan pendapat antara para ilmuwan dan industriwan, akhirnya menghasilkan definisi dengan gaya 200 nN itu. Akan dapat tampak pula jika direfleksikan, betapa sang manusia berusaha memilih satuan-satuan sedemikian sehingga optimal menghasilkan bilangan-bilangan yang sedapatnya dekat pada bilangan 1, demi lebih sederhana dan dapat lebih dibayangkannya perbandingan-perbandingan antara hasil pengukuran; daripada harus membandingkan bilangan-bilangan yang besar, setidaknya di awal perkembangan kemampuan alat-alat ukur.

SATUAN CGS VERSUS SATUAN MKS UNTUK KELISTRIKAN DAN KEMAGNETAN

Gejala kelistrikan telah diselidiki dan mulai dikuantitatifkan oleh [4] ilmuwan Perancis Charles-Augustin de Coulomb (1736-1806), dalam tujuh laporan penelitiannya yang dipresentasikannya antara tahun 1785-1789, menjelang Revolusi Perancis. Dia berhasil menyimpulkan bahwa perilaku gaya listrik F pada suatu benda bermuatan listrik sebesar q , oleh benda bermuatan listrik sebesar Q yang lain, mengikuti hubungan $q Q/r^2$ yang kemudian menjadi terkenal itu. Wajar bahwa Coulomb merintis penulisan hubungan itu dalam bentuk paling sederhana: $F = q Q/r^2$. Istilahnya saat ini: Hubungan dan satuan yang “koheren”, karena hanya ada koefisien bernilai 1 saja [5]. Karena pada masa itu penelitian biasa dilakukan dalam rumah atau “laboratorium” kecil saja, Coulomb menggunakan satuan sentimeter, gram, dan detik, yang kemudian dikenal dengan istilah “sistem satuan CGS” yang koheren. Secara serupa, penelitian dan pemikiran Isaac Newton tentang gerak benda, menghasilkan kesimpulan bahwa resultan gaya F pada suatu benda bermassa m , akan menghasilkan percepatan a yang sebanding dengan besar gaya tersebut. Maka juga sudah biasa digunakan rumusan koheren $F = m a$. Karena konsep gaya merupakan konsep yang intuitif “jelas”, dan banyak ditemui dalam hidup sehari-hari, maka segera satuan gaya (= gram sentimeter per detik kuadrat, g cm/s^2), diberi nama tersendiri, “dyne”, yang bermakna “dorongan, daya, dinamis, semangat, roh, jiwa” dalam bahasa Yunani. Jadi $\text{dyne} = \text{g cm/s}^2$.

Maka dari rumusan Coulomb itu, dapat disimpulkan bahwa satuan muatan listrik adalah $= \text{cm} \sqrt{\text{dyne}}$, jadi berkait dengan sistem CGS. Satuan muatan ini biasa juga disebut satuan elektrostatik (s.e.s.). Kemudian, setelah sistem MKS makin dominan, dengan satuan coulomb, ampere, volt, ohm, dsb, satuan s.e.s. ini disebut “statcoulomb, statC” atau mengikuti pola Sistem Internasional bagi Satuan-satuan: “franklin, Fr”, mengenang Benjamin Franklin dengan pembuktian empirisnya bahwa halilintar adalah gejala listrik [4].

Coulomb kemudian juga berhasil menemukan bahwa perilaku gaya pada batang magnet oleh batang magnet lain, selama ukuran batangnya jauh lebih kecil daripada jarak antar batang, dapat dijelaskan sebagai gaya yang ditimbulkan oleh suatu dwikutub magnet pada suatu dwikutub magnet lain; dan perilakunya ditemukannya identik dengan gaya listrik yang ditimbulkan oleh dwikutub listrik pada suatu dwikutub listrik lain. Maka disimpulkan oleh Coulomb, bahwa dwikutub magnet itu dapat dianggap terbentuk oleh suatu kutub + atau “utara” dan suatu kutub – atau “selatan”, dengan gaya oleh sebuah kutub magnet pada kutub magnet lain menaati rumusan identik seperti antara muatan + dan muatan – listrik: $F = m M/r^2$!

Yang lalu dapat membingungkan adalah, bahwa satuan bagi kutub magnet tepat sama dengan satuan bagi muatan listrik: $\text{cm} \sqrt{\text{dyne}}$. Padahal Coulomb jelas menyadari bahwa dua gejala itu amat saling berbeda. Kalau ini diinterpretasi secara positif-optimis, kiranya dapat dikatakan bahwa rupanya alam raya ini menampilkan gejala-gejala yang saling mirip, rupanya alam ini “sederhana”, bukannya memerlukan berbagai rumusan yang selalu saling berbeda. Seolah alam ini ingin mengajarkan pada manusia, bahwa alam ini dapat diamati dan dipikirkan dengan hasil memuaskan.

Satuan magnetostatik (s.m.s.) yang didasarkan pada konsep “kutub magnet” ini, kemudian ditemukan dapat direkayasa pembedaannya dari satuan elektrostatik dengan menuliskan rumusan Coulombnya sbb: $F = k_C q Q/r^2$ dan $F = k_m m M/r^2$, dengan q serta m dapat diberi nama satuan tersendiri (seperti coulomb-statik atau statC bagi muatan listrik), dengan lalu tetapan k_C dan k_m bertugas menampung perbedaan antara satuan “muatan” listrik q versus “muatan” kutub magnet m itu. Dengan perkataan lain, menghadirkan dua tetapan itu membukakan pintu untuk memilih satuan coulomb dan satuan “kutub magnet” yang saling berbeda, dan independen dari satuan lain seperti cm, g, ataupun s. Kita tahu, misalnya, bahwa kemudian dalam sistem satuan MKS yang kemudian menjadi landasan bagi Sistem Internasional bagi satuan, yang makin meluas penggunaannya di awal abad ke 21 ini, biasa ditulis $k_C = 1/(4 \pi \epsilon_0)$ yang menggunakan konsep “permitivitas”

Mengapa judul bagian ini memuat ungkapan “versus satuan MKS untuk kelistrikan dan kemagnetan”? Maksudnya adalah, menunjukkan bahwa sistem CGS kemudian ternyata tersaingi sistem satuan meter-kilogram-sekon (MKS), akibat kemudahan-kesesuaian besar-besarnya bagi pihak industri dan teknik. Akan tetapi sebelum memperdalam sistem MKS – SI ini, perlu ditelaah dulu definisi satuan arus listrik dalam sistem satuan CGS.

SATUAN CGS-EMU SEBAGAI SISTEM YANG LEBIH “MUTLAK-ABSOLUT”

Pada tahun 1820 [4], ilmuwan Denmark Hans Christian Ørsted (biasa dieja Oersted dalam Bahasa Inggris; 1777-1851) mengamati bahwa kalau dia mulai mengalirkan arus listrik melalui suatu kawat logam, sebuah jarum magnet di dekatnya berubah arahnya dari arah awal utara-selatangnya. Karena dia saat itu juga sedang mencari ada-tidaknya hubungan antara gejala listrik dengan gejala magnet, dia segera dapat menyimpulkan bahwa sebuah arus listrik menimbulkan suatu medan pengaruh (“medan magnet”) yang arahnya berkeliling sekitar kawat itu. Kesimpulan ini terbimbing oleh pengamatan dan interpretasi kepehaman saat itu, bahwa arah medan magnet sebuah dwikutub magnet identik dengan arah medan listrik sekitar sebuah dwikutub listrik.

Hal ini segera mendorong beberapa ilmuwan Perancis [6] André-Marie Ampère (1775-1836), selain [4] Jean-Baptiste Biot (1774-1862) dan Félix Savart (1791-1841), untuk mencoba mengkuantitatifkan hubungan arus listrik dengan medan magnet, dan gaya oleh medan magnet itu. Biot dan Savart bekerjasama dan pada tahun yang sama dengan temuan Oersted, berhasil merumuskan hubungan antara arus listrik dengan medan magnet yang arahnya ternyata selalu tegak lurus arah arus listrik itu. Pengertian vektor dan perkalian vektor menjadi bermanfaat bagi perumusan Biot dan Savart itu.

Berbeda dengan itu, rupanya Ampere memusatkan perhatiannya pada hubungan gejala listrik dengan gejala magnet itu dalam menghasilkan gaya pada kawat berarus listrik, oleh kawat berarus listrik lain. Ampere berhasil menghitung dan menunjukkan secara empiris bahwa gaya F pada suatu kawat lurus berarus listrik i yang berpanjang L , dapat dinyatakan dalam besar arus listrik dalam kawat lurus lain I yang sejajar dan berjarak r dari kawat pertama, $F/L = 2 i I/r$; bilangan 2 diperoleh dari proses integrasi matematis yang perlu dilakukan untuk menghitung gaya F tersebut. Bentuk matematis ini serupa tetapi berbeda dengan rumusan Coulomb bagi gaya oleh muatan listrik dan kutub magnet. Hubungan sederhana dan serupa sekali dengan rumusan Coulomb ini (tetapi tidaklah koheren oleh bilangan “2” itu!) lalu dijadikan titik tolak untuk mendefinisikan satuan untuk arus listrik. Satuan arus listrik ini kemudian biasa disebut sebagai ab-ampere (abA) karena didasarkan pada satuan CGS. Satuan CGS ini disebut “mutlak, absolut” karena dikaitkan dengan Hukum Kedua Newton, yang tampaknya berlaku bukan hanya di Bumi melainkan juga mengatur gerak Bulan, dan tampaknya seluruh gerak jagad raya ini; maka wajar bahwa sistem CGS dengan satuan dyne nya disebut sistem yang tergolong mutlak, absolut, berkat keberlakuannya dalam (rupanya) seluruh jagad raya. Satuan MKS bagi gaya diperoleh pula dari Hukum Newton tersebut, dan disebut newton (N), $= \text{kg m/s}^2$, yang kalau dinyatakan dalam satuan cgs menjadi $1\,000\text{ g } 100\text{ cm/s}^2 = 100\,000\text{ dyne}$ ($= 100\text{ kilodyne} = 0,1\text{ megadyne}$, kalau menggunakan awalan yang direkomendasikan S.I.).

Maka diperoleh dari rumusan Ampere tersebut di atas, bahwa satuan $abA \equiv \sqrt{\text{dyne}}$; bandingkan ini dengan satuan franklin/satuan elektrostatis yang sama dengan satuan magnetostatik bersatuan = $\text{cm} \sqrt{\text{dyne}}$. Tampak bahwa dapat saja dikatakan bahwa $ab\text{-ampere}$ sekedar nama baru bagi $\sqrt{\text{dyne}}$; dapat pula dikatakan bahwa franklin $\equiv \text{statcoulomb} = \text{stat-ampere detik} = \text{sentimeter } ab\text{-ampere detik}$; ataupun $\text{stat-ampere} = \text{sentimeter } ab\text{-ampere}$. Tampak bahwa dalam sistem satuan yang berbeda, dimensi satuan arus listrik dan satuan muatan listrikpun berbeda. Hal ini tentu dapat menimbulkan kebingungan, sampai akhirnya para ahli bersepakat untuk menghindari satuan-satuan berdimensi berbeda bagi arus listrik ini, dengan memilih bahwa stat-coulomb dan $ab\text{-coulomb}$ merupakan satuan independen bagi muatan listrik.

Rumusan Ampere tersebut menghasilkan definisi bagi satuan CGS-elektromagnet (CGS-emu) arus listrik sbb: Arus listrik 1 ab-ampere (ampere absolut-mutlak) dalam dua kawat tipis sejajar dengan jarak-antara 1 cm, akan menghasilkan gaya magnetik pada 1 cm kawat tersebut sebesar 2 dyne. Bilangan 2 di sini adalah konsekuensi matematis penggunaan rumusan Ampere itu.

SATUAN MKS YANG LEBIH “ALAMIAH” BAGI KONSEP ENERGI DAN DAYA

Perkembangan ilmu kelistrikan memperoleh dorongan besar setelah ilmuwan Italia [4] Alessandro Giuseppe Antonio Anastasio Volta (1745-1827) berhasil mengembangkan sel listrik dengan larutan asam

sulfat dalam sebuah tabung kaca dengan dua potongan logam seng dan tembaga tercelup dalamnya. Beda potensial antara kedua potongan logam itu, yang dapat menggerakkan arus listrik, besarnya lalu dipilih sebagai acuan bagi satuan potensial listrik. Konsep potensial listrik menggambarkan besar energi potensial listrik yang dikerahkan untuk setiap satuan muatan listrik. Rumusnya: $V = W/q$, atau jika ditinjau daya (energi per satuan waktu), diperoleh hubungan $V = P/i$ atau $P = i V$. Maka dalam satuan CGS-emu: erg = ab-ampere . ab-volt . detik.

Mengapa kemudian satuan joule dipilih sebagai satuan yang lebih sesuai bagi industri? Rupanya hal itu terjadi karena percobaan-percobaan tentang mesin uap dan pemanasan air, menghasilkan bahwa 1 gram air, untuk dinaikkan suhunya 1 derajat Celsius memerlukan sejumlah “kalor” yang tertentu, yang kemudian dinyatakan sebagai satuan “kalori”. Kemudian pengukuran-pengukuran oleh [4] ilmuwan Inggris James Prescott Joule (1818-1889) menunjukkan bahwa “kalor” sebesar 1 kalori senantiasa setara dengan usaha (yang didefinisikan sebagai perkalian gaya dengan perpindahan yang dialami) $\sim 4,2$ N m. Satuan N m ini, yang kemudian ternyata amat bermanfaat ini, sebagai satuan energi, lalu diberi nama joule, sebagai penghargaan atas jasa klarifikasi hubungan kalor dengan usaha oleh Joule itu. Jika satuan kalor/usaha/energi ini dinyatakan dalam sistem CGS, diperoleh dyne cm $\equiv$ erg = 10^{-7} joule; jadi satuan CGS erg bagi energi = sepersepuluh juta joule; amatlah kecil dibandingkan dengan joule.

Pada hal satuan joule yang masih seordor besar dengan satuan kalori, 4,2 joule $\sim$ 1 kalori itu, merupakan satuan energi yang serasi bagi industri, yang sejak berkembangnya (“revolusi industri”) banyak menggunakan mesin uap air. Inilah yang mencondongkan para industriawan pada sistem satuan MKS, karena sistem CGS menghasilkan bilangan-bilangan yang terlalu besar dalam perhitungan-perhitungan energi industri. Jadi istilah “alamiah” dalam judul bagian ini mengait pada besaran-besaran yang biasa digunakan / alamiah bagi kaum industri.

Hal ini tentu juga berlaku bagi konsep daya, yang sekedar bermakna energi per satuan waktu, yang dalam sistem MKS disebut watt (disingkat W) untuk mengenang jasa [4] ilmuwan Skotlandia James Watt (1736-1819) yang biasa disebut mengawali revolusi industri berkat hasil penyempurnaannya terhadap mesin uap ciptaan [4] Thomas Newcomen (1664-1729). Dalam sistem CGS, tidak sempat lagi disepakati nama baru bagi satuan daya erg/s. Mungkin istilah “newcomen” cocok?

MENGAPA SATU AMPERE DIPILIH SEBAGAI 1/10 KALI SATU AB-AMPERE?

Di atas sudah ditunjukkan bahwa dalam sistem CGS, erg per detik = abampere . abvolt. Dalam sistem MKS, hubungan yang sesuai menjadi joule per detik $\equiv$ watt = ampere . volt. Ketika kemudian besarnya tegangan listrik antara kedua kutub sel listrik Volta diukur, ditemukan bahwa besarnya tegangan itu $\sim 10^8$ erg per detik.ab-ampere (= erg per ab-coulomb = abvolt). Bilangan ini amat besar, menghasilkan kecanggungan dalam berhitung bagi kaum industri. Karena 10^8 erg per abC = 10 joule per abC, maka dengan mudah lalu dipilih satuan baru “volt” yang besarnya 10 J/abC itu. Lalu, karena adanya hubungan $P = i V$ yang koheren, dengan satuan $J/s = W =$ satuan arus listrik $\times$ satuan tegangan, wajarlah menulis $W = 1/10$ abA $\times$ 10 J/abC = 1/10 abA $\times$ 1 volt. Maka otomatis wajar memberi nama “ampere” bagi 1/10 abampere.

Jadi ampere dipilih = 1/10 abampere, akibat pilihan satuan volt sebesar 10^8 abvolt, mengikuti besar alamiah tegangan sel listrik Volta. Memang besarnya volt tidaklah tepat sama dengan tegangan sel Volta, karena dikendalikan oleh koherensi satuan CGS yang mengait pada satuan gram dan sentimeter melalui Hukum gerak Newton.

DEFINISI SISTEM INTERNASIONAL (S.I.) BAGI AMPERE

Maka definisi satuan arus listrik “ampere” dalam sistem MKS, karena didasarkan atas rumusan Ampere bagi dua kawat berarus listrik tersebut, menjadi (dalam satuan CGS-emu): “Arus listrik 1/10 ab-ampere adalah arus listrik yang menghasilkan gaya magnetik pada kawat berarus listrik sepanjang 1 meter = 100 cm, dengan jarak-antara kedua kawat 1 meter = 100 cm, = $1/10^2$ dari 2 dyne, = $1/100 \times 2 \times 10^{-5}$ newton = 200 nanonewton”. Maka dapat disimpulkan bahwa bilangan 200 nN itu terjadi akibat pilihan awal satuan arus listrik dalam sistem CGS-emu, yang lalu oleh pilihan satuan volt yang dekat pada realita tegangan sel listrik Volta, mengakibatkan satuan MKS bagi arus listrik harus menjadi 1/10 abampere.

MENJELANG TAHUN 2018: AMPERE HENDAK DIKAITKAN KE MUATAN SEBUAH ELEKTRON

Karena kita mulai mendekat ke tahun 2018, patutlah sebagai catatan akhir, dilaporkan rencana pengubahan definisi satuan ampere pada tahun 2018 itu. Sebenarnya [7] pada Konferensi Umum tentang Berat dan Ukuran (CGPM) tahun 2014, yang dilayani oleh Biro Internasional tentang Berat dan Ukuran (BIPM) sejak berdirinya pada tahun 1875, sudah sempat direncanakan perubahan definisi satuan ini, tetapi karena tingkat ketakpastian hasil pengukuran tentang beberapa tetapan alamiah seperti tetapan Planck dsb ketika itu masih kurang memadai, perubahan itu disepakati ditunda sampai tercapainya tingkat ketakpastian yang memadai tersebut (~9-11 angka penting). Rupanya kini tingkat ketakpastian tersebut mulai dinilai memadai, sehingga pada CGPM tahun 2018, yang biasanya dijadwalkan pada bulan Oktober, direncanakan dapat disetujui pengubahan definisi antara lain bagi satuan ampere, menjadi dilepaskan dari definisi berdasarkan gaya antara dua kawat berarus listrik, menjadi dikaitkan pada “tetapan muatan listrik” e , yaitu muatan listrik sebuah proton ataupun sebuah elektron. Jika rencana itu berhasil, definisi satuan ampere akan menjadi: “Satu ampere adalah satuan bagi arus listrik, sedemikian sehingga muatan listrik sebuah proton/elektron menjadi tepat 160,217 662 08 attocoulomb atau attoampere detik (singkatan satuan ini: aC = aA s).

Mengapa perubahan definisi ini diajukan? Pertimbangannya adalah, agar realisasi satuan ampere tidak lagi dikaitkan pada satu cara mengukur saja, yaitu gaya pada dua kawat berarus listrik, melainkan agar satuan itu dapat direalisasi dengan berbagai cara lain, dengan syarat tunggal bahwa kalau muatan listrik proton lalu diukur, haruslah besarnya muatan listrik proton itu tepat 160,217 662 08 aC atau aA s. Dengan demikian terjadi pembebasan dan dibukanya kesempatan kreativitas bagi kemajuan ilmu dan teknologi, untuk menetapkan satuan ampere; tidak lagi ada ketergantungan pada satu definisi dan cara saja.

Satu pertimbangan lain yang agak esoterik adalah, bahwa kalau umat manusia suatu ketika dapat berkomunikasi dengan makhluk cerdas dari planet tata bintang lain, perbandingan satuan bagi arus listrik tinggal dilakukan dengan membandingkan bilangan yang ditetapkan bagi muatan listrik proton yang diamati bermuatan identik di seluruh jagad raya ini. Makna “diamati” ini tepatnya adalah: Dengan asumsi bahwa muatan proton adalah senilai tersebut, ternyata semua hasil perhitungan tentang dampaknya, ditemukan sesuai-konsisten dengan hasil pengukuran yang dilakukan. Tampak bahwa ciri perilaku jagad raya ini adalah: Dapat didasarkan pada asumsi-asumsi, yang lalu melalui matematika serta penalaran ketat menghasilkan kesimpulan yang sesuai-konsisten dengan semua pengukuran yang dilakukan. Dapat dikatakan pula: Jagad raya ini menaati aturan-aturan matematis, yang dapat ditemukan dengan penalaran, yang didasarkan atas asumsi-asumsi yang membentuk sistem yang saling konsisten.

KESIMPULAN

Semoga dengan laporan ini, asal usul definisi satuan arus listrik ampere dapat lebih dipahami, selain menyadari telah adanya peran kepentingan industri di samping kepentingan ilmu, yang ikut menentukan satuan ampere ini. Semoga dengan demikian, kesadaran kita tentang pentingnya menguasai ilmu dan teknologi, serta konsistennya ilmu itu, dapat menjadi pedoman dalam melakukan pilihan-pilihan ilmiah selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Katolik Parahyangan, atas dukungan finansialnya pada penelitian ini, dan Panitia Seminar Kontribusi Fisika 2016 tanggal 14-15 Desember 2016 di Aula Timur Institut Teknologi Bandung ini, atas dukungannya menyetujui keikutsertaan dalam kegiatan ilmiah ini. Penulis juga berterima kasih kepada penanya pada saat presentasi makalah ini, atas pertanyaannya yang bermanfaat bagi klarifikasi inti makalah ini.

REFERENSI

1. A. Rusli, *Fisika dasar sebagai sarana penyadaran tentang sains dan cara ilmiah: Suatu studi*, SEMINAR NASIONAL FISIKA 2011, Pusat Penelitian Fisika-LIPI, Serpong, Volume: Prosiding SNF 2011, 782-799 (2011)
2. A Rusli, *Science and Scientific Literacy vs Science and Scientific Awareness through Basic Physics Lectures: A Study of Wish and Reality*, INTERNATIONAL CONFERENCE ON PHYSICS AND ITS

- APPLICATION (ICPAP) 2011, ITB, Bandung, November 2011, Volume: *American Institute of Physics (AIP) Conf. Proc.* 1454, 169-173 (2012);
 V. Showalter, et. al., *What is Unified Science Education? (Part 5) – Program Objectives and Scientific Literacy*. Prism **11** (1975) 2:3 & 4, 1-6
3. A. Rusli, *Demi Penyadaran Ilmu dan Literasi Sains: Mengapa Permeabilitas vakum tepat sama dengan $0,4 \times \pi$ Mikrohenry Per Meter? – Asal Usul Satuan Arus Listrik Ampere*, SIMPOSIUM FISIKA NASIONAL KE 28, Kendari, 23-25 November 2015, Volume: Prosiding SFN ke 28, 172-177 (2016)
 4. Hazel Muir, *Larousse Dictionary of Scientists*, Larousse, Edinburgh (1994);
 C-A. de Coulomb, H. C. Ørsted, J-B. Biot, F. Savart, A. G. A. A. Volta, J. P. Joule, J. Watt, Th. Newcomen, Wikipedia, tgl 4 Januari 2017.
 5. *Coherence (units of measurements)*, Wikipedia, tgl 18 Januari 2017
 6. A. Robinson, *The Story of Measurement*, Thames & Hudson, London (2007), hlm 103;
 A-M. Ampère, Wikipedia, tgl 17 Januari 2017
 7. BIPM, www.bipm.org;
 A. Rusli, *Asal usul dan rencana pengembangan Sistem Internasional (S.I.)*, SEMINAR NASIONAL FISIKA (SNF) 2011, Pusat Penelitian Fisika-LIPI, Serpong, Volume: Prosiding SNF 2011, 774-481 (2011)