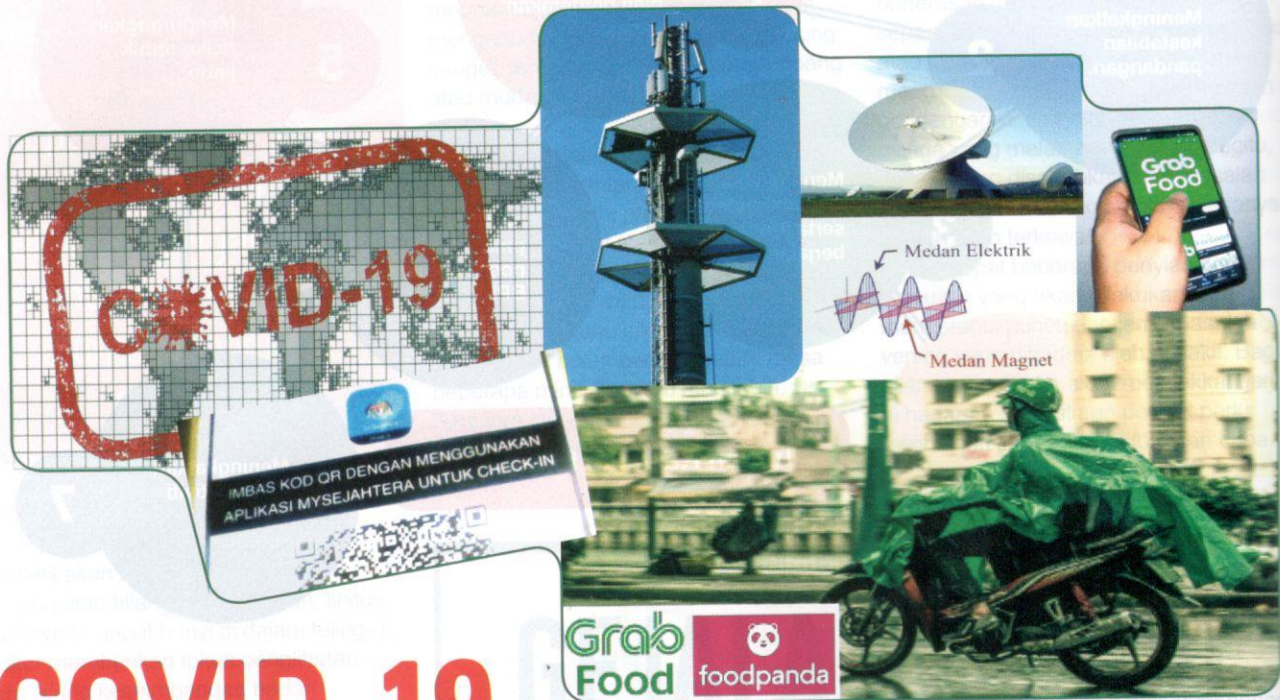


SAINS FIZIK

Shahrudin Zakaria, Maslan Zainon dan Norazlina Abd Razak
(Foto Penulis)



COVID-19 MERAIKAN PENEMUAN ELEKTROMAGNET

(Bersempena dengan Hari Sains Sedunia pada 10 November 2020)

Semasa dunia melaksanakan Perintah Kawalan Pergerakan (PKP) akibat COVID-19, perhubungan Internet tanpa wayar tiba-tiba menjadi nadi utama untuk mendapatkan perkhidmatan dan produk, khususnya makanan dan barangan keperluan asas. Kerajaan pula memberikan data percuma, melancarkan rakyat “bergerak” dalam talian. Besar

sempena dengan Hari Sains Sedunia yang diraikan pada 10 November 2020.

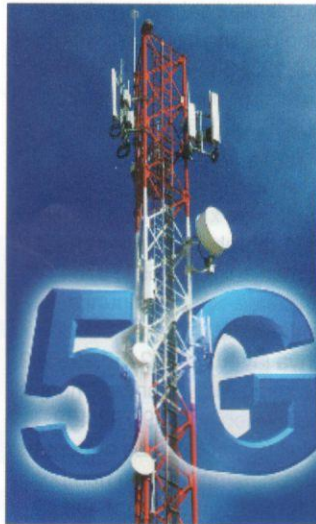
Hari Sains Sedunia diisytiharkan oleh United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO)

pada tahun 2001. Kepentingan ahli sains terbaik selepas Newton dan Einstein bolehlah dimahkotakan kepada Maxwell (James Clerk Maxwell). Jika Einstein runding tentang kelajuan cahaya hingga beliau menemui Teori Relativiti, Maxwell dan Faraday pula sibuk mencari cahaya hingga bertemu gelombang elektromagnet.

Elektromagnet ialah lambang mahkota dunia moden, iaitu telekomunikasi canggih yang kita nikmati pada hari ini. Oleh hal yang demikian, rencana ini didedikasikan untuk Hari Sains Sedunia memandangkan elektromagnet ialah paksi utama peradaban teknologi komunikasi canggih. Penemuan sains inilah punca asalnya teknologi gelombang elektromagnet (yang telekomunikasi moden, iaitu telefon pintar di tangan anda menjadi lambangnya).

Dalam Kursus Kejuruteraan Elektrik atau Elektronik Telekomunikasi atau Sains Fizik di universiti awam di Malaysia, pelajar pasti akan menemukan subjek Elektromagnet atau Teori Elektromagnet atau seumpamanya.

Semua subjek yang bersandarkan Teori Medan Elektrik dan Magnet ini, secara statik dan dinamik dan elektromagnet, normalnya akan bertemu dengan persamaan Maxwell. Persamaan Maxwell ialah kemuncak kesinambungan asas ilmu pengetahuan elektrik dan magnet. Hal ini demikian kerana Maxwell menggabungkan kesemua teori penting elektrik dan magnet sebelum itu dalam satu teori bersatu yang tidak



Waze dan Google Maps kini mampu membawa manusia ke mana-mana sahaja yang diinginkan.

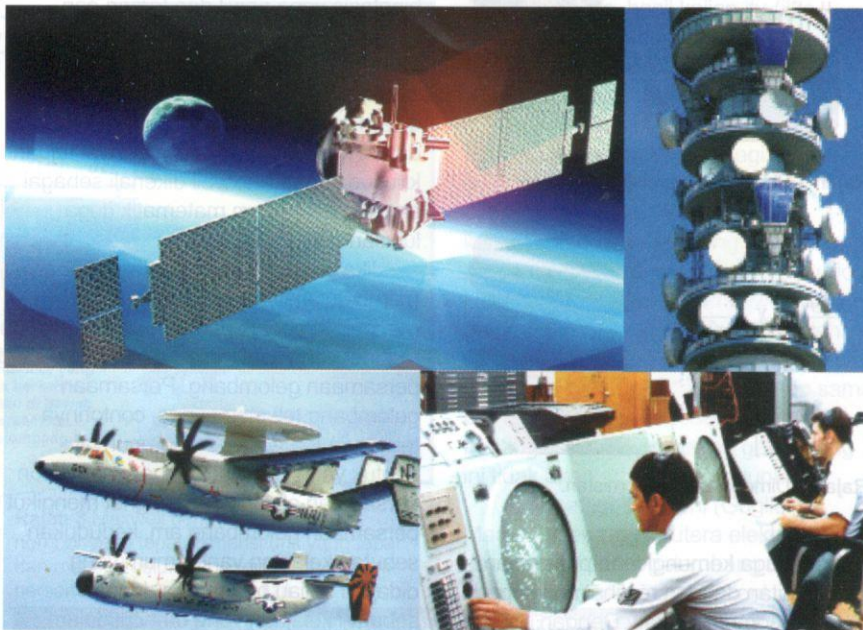
pernah dibuat sebelum ini. Sebelum itu, fenomena elektrik dan magnet dikaji hampir berasingan sahaja.

Maxwell juga dapat menunjukkan kaitan yang jelas tentang semua fenomena elektrik dan magnet dengan teratur dan mempunyai persamaan matematik yang tepat. Hal ini menjadi panduan ahli fizik dan kejuruteraan

elektrik hingga hari ini. Walaupun subjek yang dinamakan Teori Elektromagnet itu begitu berat dengan formulasi matematik, namun kemuncak subjek ini bukanlah kerana bentuk kamiran tiga kali (kiraan untuk tiga dimensi) yang terpaksa dilakukan. Namun begitu, formulasi terakhir Maxwell adalah bahawa cahaya merupakan fenomena medan elektrik dan magnet.

Kebanyakan pensyarah dan guru yang mengajar subjek ini pasti akan tertunggu-tunggu saat untuk menunjukkan formulasi yang paling dikagumi dalam dunia fizik, iaitu nombor kelajuan cahaya (yakni, c). Namun begitu, mungkin tempoh pendedahan ini yang agak singkat pada penghujung semester, menyebabkan ada kemungkinan para pelajar terlepas peluang keemasan untuk merasakan kemuncak kemanisannya. Mungkin juga mereka lemas dengan matematik yang mendalam hingga keistimewaan Persamaan Maxwell ini berlalu begitu sahaja.

Penulis membentangkan perkara tersebut dengan lebih santai, teratur, mudah, dan menarik. Segala persamaan matematiknya diringkaskan menjadi gambaran sahaja agar segenap masyarakat dapat berkongsi merasakan juga suasana dan saat paling dramatik kesimpulan formulasi Maxwell yang gemilang itu.



Satelit, radar dan keselamatan angkasa raya lumpuh tanpa sains elektromagnet.

Kemunculan Faraday dan Maxwell

Kisah bermula apabila Faraday (Michael Faraday) mengesyaki bahawa cahaya adalah sebahagian daripada fenomena elektrik dan magnet daripada uji kaji beliau. Barangkali, Maxwell (James Clerk Maxwell) mengetahui tentang hal yang sebenarnya ini. Faraday melakukan begitu banyak uji kaji sains semasa hayat beliau, malah salinan buku catatan uji kaji beliau masih boleh didapati hingga kini.

Uji kaji penting Faraday yang memberikan kesan langsung itu mempunyai kaitan dengan elektromagnet dengan cahaya yang dikenali sebagai Kesan Faraday. Namun begitu, Maxwell merujuk kertas kerja Faraday mengenai garisan daya Faraday dalam kertas kerja beliau. Faraday bagaikan cuba meneka-neka teknik magnet dan elektrik boleh menjadi cahaya.

Beliau meramalkan arus kedua dalam kapasitor (sesuatu yang tidak dapat difikirkan oleh ahli sains lain yang sewaktu dengannya). Beliau mencadangkan penemuan penting mengenai hal elektrik dan magnet sebelum ini agar dibuat sedikit penyesuaian. Banyak perkara pelik yang diusahakan beliau. Walau bagaimanapun, Maxwell mempunyai kekuatan matematik, sarjana berpendidikan tinggi (universiti).

Ternyata Maxwell bukanlah sekadar meneka-neka kosong sahaja. Beliau menaruh perhatian penuh akan kefahaman Faraday, bahawa cahaya adalah sebahagian daripada fenomena elektrik dan magnet. Maxwell mencari-cari perkara lain yang seharusnya benar sebelum boleh mengambil keputusan berat bahawa cahaya ialah pergabungan medan elektrik dan magnet yang saling menjanakan melintasi dimensi ruang dan masa. Yang berikut ialah perkiraan matematik yang penting yang mungkin ditemui oleh Maxwell terlebih dahulu (kita tidak tahu perkara yang diketahui oleh Maxwell sebagai petunjuk awal, sama ada melalui unit asasnya ataupun melalui persamaan gelombang). Hal ini berkenaan elektrik dan magnet dan berakhir dengan kesimpulan ganjil tentang nombor cahaya.

Melalui unit asas sahaja nombor pemalar yang penting bagi magnet (μ_0) ialah 0.0000012566370621219 dan nombor pemalar penting bagi elektrik (ϵ_0) ialah 0.00000000008854187812813. Jika didarabkan kedua-dua nombor tersebut, hasilnya ialah $1.11265005605689 \times 10^{-17}$, dan apabila disalingkan (1 membahagikan nombor di atas), akan menjadi $8.98755178734175 \times 10^{16}$. Akhir sekali, apabila dipunca duakan nombor di atas ($\sqrt{\text{nombor di atas}}$), hasilnya ialah 299792457.999559.

Nombor ini jika dibundarkan (menjadi integer sahaja) menjadi 299 792 458. Sembilan digit nombor di atas bertepatan secara tidak langsung dengan nombor kelajuan cahaya dalam vakum, iaitu 299 792 458 m/s (rujuk Rajah 1). Perkara ini akan menghairankan sesiapa sahaja yang waras di atas muka bumi ini! Mungkin meletakkan Maxwell juga dalam keadaan "tidak dapat tidur" pada zamannya.

$$\mu_0 \cdot \epsilon_0 = 0.0000012566370621219 \times 0.00000000008854187812813$$

$$1 / \mu_0 \cdot \epsilon_0 = 8.98755178734175 \times 10^{16}$$

$$\sqrt{\frac{1}{\mu_0 \cdot \epsilon_0}} = 299\,792\,458$$

Nombor yang



Rajah 1 Nombor yang misteri.

$$\frac{\mu_0 \cdot \epsilon_0}{\text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2 \text{A}^2 \times \text{A}^2 \cdot \text{s}^4 / \text{kg} \cdot \text{m}^3} = \frac{\text{s}^2}{\text{m}^2}$$

$$\left[\frac{\text{s}}{\text{m}} \right]^2$$

Salingan dimensi unit yang misteri...



Rajah 2 Dimensi unit yang misteri.

Ada juga kemungkinan penemuan ini berkaitan dengan melihat unit kepada nombor-nombor di atas. Dengan disalingmatikan di atas dan di bawah

(bagaikan potongan huruf simbol kepada unit secara matematik), unit salingannya akan berdimensi m/s (iaitu, unit kelajuan) (rujuk Rajah 2).

Jika disaling dan dipunca dengan kuasa dua; unit kelajuan m/s dapat diperhatikan. Jika unit menjadi petunjuk, nombor 299 792 458 tadi akan bermaksud punyai dimensi kelajuan dengan tepat. Namun, jika nombor ini memang bermaksud kelajuan lalu, persoalannya ialah "Apakah kelajuan yang dimaksudkan dengan munculnya nombor 299 792 458 ini"? Hal ini penuh dengan tanda tanya!

Perkara yang menggembirakan, nombor-nombor pemalar elektrik dan magnet (μ_0 dan ϵ_0) telah pun diukur dan tersedia dengan agak tepat pada zaman beliau itu. Begitu juga dengan ukuran kelajuan cahaya. Tiga ukuran ini datang daripada tiga bidang berasingan (tiada kaitan dalam pengukurannya).

Ketiga-tiga nombor itu telah pun dibuat pengukurannya sebelum kedatangan Maxwell lagi. Pengukuran nombor-nombor pada zaman moden ini adalah lebih jitu, namun kaitan nombor ini pada ketika itu pun sudah cukup menghairankan. Mungkin kaitan yang lebih awal inilah yang dijumpai oleh Maxwell, hingga beliau terbawa-bawa hipotesis yang ganjil dan tercairi-cari jawapan dan meneka-neka perkara aneh. Beliau juga membuat pembetulan dalam penemuan sains sebelum ini dalam meramalkan arus baharu kedua dalam kapasitor yang mempunyai tujuan khusus. Ingat! Maxwell dikenali sebagai sangat bijak dalam matematik (juga lulusan universiti).

Jika perkara tersebut adalah benar (pembetulan itu), beliau akan dapat mengubah bentuk persamaan elektrik dan magnet yang asal tersebut menjadi seperti persamaan gelombang. Persamaan gelombang tali atau spring, contohnya telah pun tersedia dan mempunyai bentuk yang khusus. Dengan menyusun persamaan elektrik dan magnet mengikut persamaan gelombang am, kedudukan sebutan kelajuan yang umum yang didapati beliau bertepatan dengan sebutan kelajuan yang muncul dalam persamaan elektrik dan magnet tersebut.

Maxwell melalui kehandalan matematik kalkulus beliau, berjaya menemui kaitan cahaya dan elektromagnet. Hasil daripada bentuk persamaan Maxwell yang baharu mempunyai bentuk gelombang am yang setara (serta unit yang bertepatan dengan 'm/s'). Akhirnya, beliau akan dapat membanding $1/v^2$ dengan μ_0 dan ϵ_0 secara tepat (rujuk Rajah 3).

Apabila dimasukkan nilainya, v akan didapati bernilai 299792458 m/s. Maxwell hanya perlu menukarkan v menjadi c (c ialah kelajuan tetap cahaya dalam vakum, sementara v ialah kelajuan am gelombang). Nombor 299792458 wujud di tempatnya yang betul (di tempat v). Bentuk matematik gelombang am inilah matlamat sebenar Maxwell, ibarat bukti kukuh bagi Maxwell, sesuai dengan keserjanaan beliau.

Pastilah beliau akan berasa puas hati kerana persamaan matematik elektrik dan magnet tersebut akhirnya dapat dimanipulasikan menjadi persamaan gelombang, dan mempunyai kedudukan sebutan kelajuan yang betul. Nilai nombornya pun tepat dengan kelajuan cahaya. Maka, tenteramlah jiwa Maxwell dengan kenyataan



Gelombang elektromagnet memunculkan perhubungan tanpa wayar pada hari ini.

bahawa cahaya ialah fenomena elektrik dan magnet. Kini, nombor tersebut mempunyai sebab yang penuh ilmiah. Namun, penemuannya tidak diendahkan oleh golongan cendekiawan ketika itu. Hal ini demikian kerana metodologi penemuannya jauh sangat berbeza, iaitu menggunakan pembuktian matematik yang berat.

Hakikatnya, hasil kajian itu (jika dipandang ke belakang semula), Maxwell sebenarnya membuktikan kewujudan gelombang elektromagnet. Beliau menegaskan dengan yakin bahawa akan ada banyak lagi bentuk gelombang elektromagnet selain cahaya. Beberapa tahun selepas kematian Maxwell, seorang ahli sains Jerman bernama Hertz (Heinrich Rudolf Hertz) telah membuktikan kewujudan gelombang radio yang dikatakan oleh Maxwell. Uji kaji Hertz dapat mengukur kelajuan gelombang tersebut tetap sama menghampiri 299792458 m/s. Sedikit malang, Hertz menyatakan gelombang ini tidak akan ada apa-apa gunanya.

Akan tetapi, Marconi (Guglielmo Marconi) seorang jurutera elektrik Itali dapat memikirkan gelombang ini dapat membawa maklumat. Marconi juga

pengasas Syarikat Wireless Telegraph and Signal di United Kingdom (1897). Beliau telah menjuruterai penemuan penting Maxwell untuk kegunaan manusia moden pada hari ini.

Sekianlah, kisah pencarian cahaya oleh ahli sains terkenal, Faraday dan Maxwell. Secara tidak disangka, mereka menemukan gelombang elektromagnet, maka muncullah keajaiban perhubungan tanpa wayar dari radio, walkie-talkie, telefon mudah alih hinggalah ke Bluetooth, Wi-Fi, dan teknologi rangkaian mudah alih 4G serta 5G pada hari ini. Malah, seluruh rumah kini boleh dikawal oleh telefon pintar dari jauh. Makanan juga dapat ditempah melalui panggilan telefon mudah alih ketika PKP akibat COVID-19. Terima kasih Maxwell dan Faraday! Tahun 2020 ini ialah kemuncak jasa kamu yang terbesar.

Dunia menganggap Faraday sebagai ahli sains fizik uji kaji terunggul. Sementara, Maxwell pula ialah Ahli Sains Fizik Teori yang disegani dan dikagumi. Nama besar ini menjadi penyumbang besar dalam bidang fizik dan kejuruteraan elektrik. Selamat menyambut Hari Sains Sedunia kepada warga sains dan teknologi!

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = K^2 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

$$\frac{1}{v^2} = \mu_0 \cdot \epsilon_0$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = \left[\frac{1}{v}\right]^2 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

$$\Rightarrow v = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \cdot \epsilon_0}}$$

$$\Rightarrow c = \sqrt{\frac{1}{\mu_0 \cdot \epsilon_0}}$$

$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$

Menakjubkan! tiga nombor yang tidak berkaitan, bersatu di bawah persamaan gelombang.

Rajah 3 Maxwell berjaya menemukan nombor yang tepat, dimensi unit yang tepat dan maksud gelombang yang tepat dalam persamaan gelombang am fizik.

Penulis ialah pensyarah di Fakulti Teknologi Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik, Universiti Teknikal Malaysia (UTeM), Melaka.