

ERNST MACH DAN EKONOMI PIKIRAN

KARLINA SUPELLI*

Abstract: Ernst Mach stands as a representative figure of the positivist philosophy of science at the turn of the twentieth century, yet he is by far the most misunderstood scientist-philosopher. The misunderstanding is largely caused by his epistemological rejection of the use of hypothetical entities that are ordinarily posited by scientists. He also argued against the mechanistic worldview which dominated scientific investigations in the nineteenth century. This essay will demonstrate that Mach's positivism differs from the earlier positivism of August Comte. His anti-metaphysical stance is deeply-rooted in his physical phenomenology, guided by the economy of thought in pursuit of the unity of science. In Mach's view, scientific theories are merely biological tools for organizing experience by means of the fewest possible concepts, and all metaphysical elements are to be eliminated from science as methodologically and epistemologically superfluous. But Mach's thesis of the unification of science does not share the common concern of the logical positivists to reduce various scientific statements to physical language. While Mach's philosophy of science clearly exhibits a miscalculation of the strength of scientific conceptual tools, his physical phenomenology serves as a bridge between theory and experiment which has proved to be fruitful.

Keywords: The economy of thought, evolution, element, physical phenomenology, the unity of science, instrumentalism, empirical realism.

Abstrak: Ernst Mach tampil sebagai tokoh representatif dari Filsafat Ilmu Pengetahuan positivis pada peralihan menuju abad ke-20, sekaligus sebagai ilmuwan-filsuf yang paling disalahpahami. Kesalahpahaman tersebut sebagian besar disebabkan oleh penolakan epistemologisnya terhadap penggunaan wujud-wujud hipotetis yang kerap diajukan oleh para ilmuwan. Ia juga melawan cara pandang mekanistik yang mendominasi penyelidikan ilmiah pada abad ke-19. Artikel ini memper-

* *Karlina Supelli, Program Pascasarjana Ilmu Filsafat, Sekolah Tinggi Filsafat Driyarkara, Cempaka Putih Indah 100 A, Rawasari, Jakarta 10520. E-mail: karlina.supelli@gmail.com.*

lihatkan bahwa positivisme Mach berbeda dengan positivisme August Comte yang mendahuluinya. Pandangan anti-metafisik Mach berakar sangat dalam pada fisika fenomenologi yang dipandu oleh ekonomi pikiran untuk mencapai sains terpadu. Dalam pandangan Mach, teori-teori ilmiah semata-mata sarana biologis untuk menata pengalaman dengan memanfaatkan sesedikit mungkin konsep, dan semua elemen metafisika perlu disingkirkan dari sains karena secara metodologis dan epistemologis tidak bermanfaat. Namun, tesis Mach tentang sains terpadu tidak sejalan dengan gagasan para positivis logis yang mereduksi berbagai macam pernyataan ilmiah ke dalam bahasa fisika. Sementara Filsafat Ilmu Pengetahuan Mach jelas-jelas keliru dalam memperhitungkan kekuatan piranti-piranti konseptual sains, fisika fenomenologi yang menjembatani teori dan eksperimen telah terbukti sangat bermanfaat.

Kata-kata kunci: Ekonomi pikiran, evolusi, elemen, fisika fenomenologi, sains terpadu, instrumentalisme, realisme empiris.

PENDAHULUAN

Karl Popper menyebut Ernst Mach (1838-1916) sebagai salah seorang fisikawan yang mengkhianati tradisi sains yang dibangun Galileo. Alih-alih meneruskan semangat Galileo yang mau menempatkan sains sebagai upaya mencari kebenaran, Mach malahan meneruskan paham instrumentalisme Kardinal Bellarmino dan Uskup Berkeley.¹ Di kalangan ilmuwan zamannya, Mach tergolong kelompok minoritas yang dikenal gigih menolak penafsiran realis atas konsep-konsep ilmiah. Sementara di antara para filosof, ia dikenal sebagai ilmuwan anti-metafisika sampai-sampai Feyerabend menyebutnya '*simple-minded positivist*'.² Tidak kalah menarik

1 Karl Popper, *Conjectures and Refutations* (London: Routledge, 1989 [1963]), pp. 99-100. Lihat juga Karl Popper, "Berkeley as a Precursor of Mach," in *Conjectures*, pp. 166-183.

2 Dikutip dalam John Blackmore, "An Historical Note on Ernst Mach," *The British Journal for the Philosophy of Science* 36/3 (September, 1985): 300. Feyerabend juga mengutip Mach yang menegaskan, "Saya seorang ilmuwan dan sama sekali bukan filosof... Terutama tidak ada filsafat model Mach, paling-paling metodologi ilmiah dan psikologi pengetahuan, dan keduanya, laiknya semua teori ilmiah, merupakan upaya awal yang belum selesai" [dikutip dalam Feyerabend, "Zahar on Mach, Einstein and Modern Science," *The British Journal for the Philosophy of Science* 31/3 (1980), p. 278].

adalah reaksi politisi terhadap epistemologi Mach yang mempengaruhi banyak sosialis revolusioner Eropa Tengah dan Rusia. Lenin menulis *Materialism and Empirico-Criticism* (1909) konon untuk memerangi anti-materialisme Mach seraya meminta ilmuwan dan filosof pendukung revolusi Bolshevik memilih Mach atau Marx!³

Terlepas dari kontroversi itu, Mach adalah orang yang tepat dijuluki sebagai peletak dasar-dasar filsafat sains abad XX dan empirisisme kontemporer. Kebanyakan fisikawan masa kini tidak lagi berpegang pada realisme naif Galileo. Pada aras epistemik, mereka kebanyakan menafsirkan sains secara nonrealis, kendati pada aras ontologis banyak yang menganut realisme. Tulisan ini akan menelaah konsepsi Mach tentang ekonomi pikiran dan peran sains dalam dunia kehidupan. Terlebih dulu penulis akan menjernihkan positivisme Mach yang khas serta fisika fenomenologi yang ia kembangkan. Penulis juga akan mengulas gagasan Mach tentang sains terpadu dan alasannya menolak metafisika. Bagian akhir berisi diskusi.

DI ANTARA COMTE DAN LINGKARAN WINA

Sumbangan pemikiran Mach tersebar secara substansial dalam banyak bidang ilmu, mulai dari aerodinamika, fisika, psikologi, fisiologi sampai filsafat sains. Einstein menyebut Mach sebagai orang yang mengguncang kepercayaan dogmatik yang dianut para fisikawan abad ke-19 dalam mekanika klasik. Dapat dikatakan bahwa di satu sisi Mach mempengaruhi perkembangan awal filsafat analitik, dan di lain sisi mempengaruhi fenomenologi (Husserl).

Mach memperkenalkan pendekatan historis kritis dalam sains jauh sebelum sejarah sains tumbuh sebagai bidang akademik.⁴ Ia menggunakan

3 Lihat Robert Cohen, "Machists and Marxists: Bogdanov and Lenin," in Robert S. Cohen and Raymond J. Seeger, eds., *Ernst Mach Physicist and Philosopher* (Dordrecht, Holland: 1979), p. 156.

4 Pendekatan historis kritis ia terapkan dalam *The Science of Mechanics* (1883), *The Principles of Physical Optics: An Historical and Philosophical Treatment* (1913), dan *History and Roots of the Principle of the Conservation of Energy* (1911).

sejarah sains untuk membangun perspektif kritis terhadap sains baik para aras teori, metode maupun kelembagaan. Pada masa tua, di Parlemen Austria ia memperjuangkan pendidikan sains bagi publik agar masyarakat dapat bersikap kritis terhadap kegiatan ilmiah.⁵ Ia terlibat perdebatan sengit dengan fisikawan Max Planck terkait kurikulum pendidikan sains di sekolah menengah dan perguruan tinggi. Belakangan ini, pendekatan historis kritis dalam pendidikan Mach diangkat lagi.⁶

Dalam bingkai filsafat ilmu, Mach dapat ditempatkan di antara positivisme Comte dan positivisme logis. Comte dan Mach sama-sama menandai pengetahuan melalui hal-hal yang tercerap indera. Keduanya sama-sama percaya akan daya-daya istimewa sains untuk kemajuan masyarakat. Namun berbeda dengan Comte, positivisme Mach bukan suatu orientasi intelektual yang menempatkan sains di puncak gerak sejarah, dan terutama bukan filsafat sosial yang bertujuan merekayasa dan menata ulang masyarakat.

Philipp Frank mendefinisikan positivisme Mach sebagai sebuah teori tentang “apa yang dikerjakan para ilmuwan ketika mereka terlibat dalam kegiatan praktis menyelidiki, menimbang, menghitung, menguji, menolak, mengetahui.”⁷ Dengan kata lain, positivisme Mach adalah suatu metodologi. Dalam upaya Mach menjawab pertanyaan tentang asal usul, makna, kesahihan dan fungsi pernyataan-pernyataan ilmiah, positivisme mengemuka sebagai metode untuk membangun kerja sama lintas disiplin ilmu. Kendati tidak menyebut metodenya sebagai metode positivisme, Mach yakin bahwa pendekatan yang ia terapkan dalam memahami sains

5 Lihat Ernst Mach, “Author’s Preface to the First Edition,” in *Popular Scientific Lectures*, trans. Thomas J. McCormack (Chicago: The Open Court Publishing Company, 1898 [1894]).

6 Lihat antara lain (a) Hayo Siemsen, “Ernst Mach, George Sarton and the Empiry of Teaching Science Part I,” *Science & Education* 21/4 (2012): 447-484; (b) Steve Fuller, “Retrieving the Point of the Realism-Instrumentalism Debate: Mach Vs. Planck on Science Education Policy,” *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* (1994), pp. 200-208; dan (c) Michael R. Matthews, “Ernst Mach and Contemporary Science Education Reforms,” *International Journal of Science Education* 12/3 (1990): 317-325.

7 Lihat Cohen, “Ernst Mach: Physics, Perception and the Philosophy of Science,” in Cohen and Seeger (eds.), *Ernst Mach Physicist and Philosopher*, p. 131.

dapat membantu ilmuwan memahami batas-batas pengetahuan ilmiah dan bersikap kritis terhadap andaian-andaian metafisis dalam sains.

Berikut saya merumuskan perbedaan positivisme Mach dan Comte, khususnya menyangkut kepastian pengetahuan, melalui (1) konsep hukum alam yang mengalami perubahan radikal dalam empirisisme Mach, (2) pandangan tentang indeterminisme dalam alam, serta (3) pengertian fakta dan relasi antar fakta. Dalam butir-butir itu mengemuka penolakan tegas Mach terhadap kecenderungan banyak ilmuwan abad ke-19 untuk menciutkan pengetahuan ke prinsip-prinsip mekanis.

HUKUM ILMIAH SEBAGAI SARANA PENGHEMATAN

Karakteristik filsafat positif August Comte ditandai dengan prinsip yang menyatakan bahwa semua gejala tunduk pada hukum-hukum alam yang tidak berubah. Tatanan objektif nonmetafisis itu ada dalam semua sains. Comte yakin bahwa berbagai gejala mempertahankan penataan yang sama.⁸ Prinsip itu ia anggap sah baik secara logis maupun epistemologis kendati tidak dapat didemonstrasikan secara *a priori*. Namun, setiap penemuan baru gejala-gejala yang tak berubah, akan menambah jumlah induksi yang sudah banyak sehingga semakin besar kemungkinan bahwa prinsip itu ada.⁹

Keyakinan akan ketakubahan alam membuat Comte percaya masa depan dapat diprakirakan dengan tepat. Program positivis adalah melakukan intervensi terhadap tatanan objektif tersebut sehingga kepentingan-kepentingan subjektif dapat tercapai. Comte sendiri cenderung memperlakukan fakta umum sebagai hukum, sehingga seperti ditunjukkan oleh Lévy-Bruhl,¹⁰ ia terjebak dalam kekeliruan metodologis.

8 August Comte, *Positive Philosophy of Auguste Comte* Vol. I, trans. Harriet Martineau (London: George Bell & Sons, 1896), p. 31. Comte juga menyampaikan kepada Papot (1851) seperti dikutip dalam Larry Laudan, "Towards a Reassessment of Comte's 'Méthode Positive,'" *Philosophy of Science* 38/1 (March, 1971):44. Bdk. Comte sebagaimana dikutip dalam Mary Pickering, *August Comte, An Intellectual Biography* Vol. I (Cambridge: Cambridge University Press, 1993), p. 412.

9 Robert Schraff, *Comte after Positivism* (Cambridge: Cambridge University Press, 1995), p. 66.

10 Lihat kutipan Comte tentang "fakta umum" dalam Laudan, "Towards a Reassessment,"

Ia menggunakan hukum-hukum universal sosiologi untuk memverifikasi sosiologi, alias membuat sosiologi mensahihkan dirinya sendiri.¹¹

Konsepsi Mach berkebalikan dari Comte. Mach bersikap skeptis terhadap pola berulang dalam alam dan berpendapat bahwa setiap kejadian bersifat unik, "Alam terjadi hanya sekali."¹² Teori pengetahuan Mach dipengaruhi oleh teori evolusi Darwin, sehingga ia yakin bahwa alam dan pengetahuan tentang alam berubah secara dinamis. Masalahnya, manusia tidak mungkin melahirkan sains jika peristiwa-peristiwa di dunia hanya ditangkap sebagai rentetan fluks yang datang dan pergi tanpa meninggalkan jejak.

Mach mengatasi masalah itu lewat daya ingat dan intuisi manusia yang bekerja berdasarkan logika asosiatif. Ia mengakui pengaruh Hume dalam pemahamannya tentang persepsi. Persepsi tidak hanya terdiri dari pencerapan tetapi juga ingatan. Keduanya mengikat "kesan-kesan terdahulu ke kesan-kesan masa kini ... dalam medan persepsi ... kita melihatnya bersamaan," tulis Mach dalam catatan harian (1881).¹³ Kita mengasosiasikan pencerapan baru dengan kejadian sebelumnya, lalu merumuskan kaidah untuk meringkas dan menata di dalam pikiran beragam gejala yang kita alami. Itulah sebabnya, "seseorang yang sudah berpengalaman akan melihat sebuah peristiwa baru dengan mata yang berbeda dibandingkan seorang pemula," tulis Mach.¹⁴ Lewat langkah ini, kita membangun relasi yang relatif *ajeg* di antara simpang siur peristiwa. Rumusan itu membantu kita melakukan prediksi, sekaligus membatasi harapan. Bagi Mach, selain berfungsi deskriptif dan prediktif, hukum sekaligus restriktif.¹⁵

n. 14, p. 39.

11 Kritik Lévy-Bruhl sebagaimana dikutip dalam Pickering, *August Comte* Vol. I, p. 564.

12 Mach, *Popular Scientific Lectures*, p. 199.

13 Mach sebagaimana dikutip dalam Erik C. Banks, "The Philosophical Roots of Ernst Mach's Economy of Thought," *Synthese* 139/1 (March, 2004): 28.

14 Mach, *The Science of Mechanics*, trans. Thomas J. McCormack (Merchant Books: 2007 [1883/1902]), p. 484.

15 Mach sebagaimana dikutip Cohen, "Physics, Perception," in Cohen and Seeger (1970), p. 137.

Tampak bahwa Mach memperlakukan hukum-hukum ilmiah bukan sebagai “hukum alam.” Hukum dalam sains tidak mempunyai kandungan semantik sebagaimana dibayangkan oleh Comte. Hukum adalah kaidah mental, reproduksi mimetis fakta di dalam pikiran. Mach memberi contoh dalam sebuah kalimat bermodel Kant, “Dalam alam tidak ada hukum refraksi tetapi hanya ada bermacam-macam kasus refraksi. Hukum refraksi adalah kaidah meringkas yang kita rancang guna merekonstruksikan sebuah fakta di dalam skema mental dan hanya untuk rekonstruksi sebagian, yaitu sisi geometrisnya saja.”¹⁶ Karena pikiran tak sanggup menjangkau semua kasus refraksi, pengetahuan tentang indeks refraksi dan hukum refraksi membantu kita mereproduksi berbagai model refraksi tanpa perlu mengulang eksperimen Snellius. Perumusan hukum membantu langkah dan komunikasi ilmiah karena hukum menghemat kerja mental.¹⁷ Melalui perspektif ini, “hukum tiga tahap” Comte dipahami bukan sebagai fakta umum, melainkan sarana mental untuk meringkas gejala rumit sejarah.

Konsepsi Mach menghasilkan ketaksetangkupan yang tajam antara pengalaman dan teori. Bagi Mach, pengalamanlah yang nyata. Tidak ada pengetahuan tentang dunia yang tidak berasal dari pengalaman. Semua konsep, hukum dan teori merupakan perumusan para ilmuwan guna menata pengalaman seringkas mungkin. Mach menyebut skema mental itu ‘ekonomi pikiran.’ Ia mengakui kelemahan skema sains sebagai ekonomi pikiran. Skema itu meloloskan banyak rincian, termasuk keunikan peristiwa-peristiwa individual. Ekonomi pikiran, mau tidak mau, hanya melibatkan pengalaman parsial, “upaya memperoleh satu porsi gejala dari gejala lainnya.”¹⁸

Akan tetapi, ia berargumen bahwa sains adalah sarana biologis hasil evolusi yang tumbuh dari kebutuhan manusia untuk mengorientasikan

16 Mach, *Science of Mechanics*, pp. 34-84, 485.

17 Mach, *Popular Scientific Lectures*, pp. 192-193.

18 Prinsip ekonomi pikiran muncul secara utuh dalam kuliah tahun 1882 yang kemudian menjadi bagian dari *Science of Mechanics* (1883), Chapter IV, pp. 481-494. Tentang kelemahan skema sains sebagai ekonomi pikiran lihat Mach, *Popular Scientific Lectures*, p. 206.

diri di dunia. “Semua sains bermula dalam kebutuhan-kebutuhan hidup.”¹⁹ Perspektif kita sebagai spesies tentang dunia melahirkan cara pikir yang tumbuh sebagai sains. Geometri lahir dari pencerapan akan ruang, sains tentang panas muncul dari rasa panas, dan seterusnya. Agar perspektif itu berguna sebagai sarana orientasi, ia tidak boleh boros. Maka dalam proses abstraksi untuk merumuskan kaidah penataan, ilmuwan me-nanggalkan aspek yang ia nilai tidak relevan, atau yang mengganggu nilai ekonomis pemaparan. Aspek yang dianggap relevan dan fundamental juga dapat berubah, tergantung tradisi dan kebutuhan suatu zaman.²⁰

Dengan demikian, hukum jauh lebih miskin dibanding fakta. Hukum tidak pernah lengkap, “Hukum adalah persamaan (matematis: penulis) di antara elemen-elemen terukur $\alpha \beta \gamma \dots \omega$ dari gejala. Karena alam mengalami perubahan, jumlah persamaan ini selalu lebih sedikit daripada jumlah elemen-elemen itu.”²¹ Kesenjangan antara pikiran dan pengalaman selalu terjadi, tetapi melalui kerja ilmiah kesenjangan itu lama kelamaan berkurang. Itulah sebabnya hukum senantiasa perlu diuji dan diperbaiki. Pandangan Mach ini berbeda dengan Comte yang menganggap prosedur observasi, eksperimen dan verifikasi selesai pada saat hukum sebagai suatu ketetapan alam yang real dan objektif telah berhasil dirumuskan. Sebagai panduan kerja ilmiah, positivisme Mach bergantung pada peninjauan kritis terus menerus.

Lewat perspektif instrumentalistik itu, Mach lalu berargumen bahwa terjadi banyak kerancuan karena orang keliru membedakan sarana dengan tujuan. Orang “memperlakukan mesin *intelektual* yang fungsinya merepresen-tasikan dunia *di panggung pikiran* sebagai landasan dunia

19 Mach, *Science of Mechanics*, p. 504.

20 Mach menegaskan, “Tak ada sudut pandangan yang punya kesahihan mutlak dan permanen. Setiap (sudut pandang: penulis) hanya penting untuk keperluan tertentu ... tugas kita adalah menunjukkan mengapa dan untuk keperluan apa kita berpegang pada sudut pandang tertentu, dan mengapa serta untuk kepentingan apa kita pada suatu waktu melepaskannya.” Mach, *The Analysis of Sensations*, trans. by Williams, rev. Waterlow (New York: Dover, 1959 [1886]), p 37.

21 Mach, *Science of Mechanics*, p. 502; *Popular Scientific Lectures*, p. 206.

nyata.”²² Misalnya, kecenderungan banyak ilmuwan dan filsuf dalam memperlakukan prinsip-prinsip mekanis sebagai prinsip alam yang berlaku umum. Padahal, prinsip itu adalah suatu abstraksi yang dirampatkan dari kasus-kasus partikular untuk merepresentasikan fakta mekanistik secara ekonomis. Akibatnya, prinsip itu dianggap dapat menjelaskan semua gejala padahal tidak sesuai bagi fakta nonfisis seperti fakta fisiologis atau psikologis. Melalui cara pandang itu, Mach lalu melancarkan kritik terhadap tesis determinisme. Tesis determinisme menggambarkan mekanisme kerja alam berdasarkan hukum-hukum sebab-akibat sehingga memberi kepastian peristiwa.

INDETERMINISME DALAM ALAM

Konsepsi deterministik tentang alam bertopang di atas prinsip kausalitas. Kebanyakan fisikawan pada masa itu memahami prinsip kausalitas menurut skema *a priori* Kant, yaitu sebagai prasyarat niscaya bagi pengalaman objektif, yang sekaligus memungkinkan realisme di tataran empiris.²³ Dalam bingkai epistemologi Kant, tidak mungkin ada konsep tentang realitas tanpa merujuk ke kategori-kategori akal budi, salah satunya adalah kausalitas.

Sejalan dengan Hume dan Kant, Mach juga berpendapat bahwa tidak ada kausalitas di alam. Bagi Mach, analisis kausal adalah hasil kesimpulan yang muncul dari upaya mereproduksi fakta di dalam pikiran sehemat mungkin.²⁴ Pada mulanya, orang memperlakukan hubungan antara A dan B, C dan D, E dan F, dst, sebagai gejala akrab biasa. Sesudah pengalaman yang cukup panjang dan sesudah ia juga mengamati hubungan antara M dan N, ia mengenali M terbangun dari A, C, E, sementara N dari B, D, dan F. Tiba-tiba hubungan-hubungan itu tampak memiliki otoritas yang lebih tinggi, yang lalu disebut sebagai kaidah sebab-akibat. Namun, berbeda dengan Hume yang meletakkan kebiasaan

²² Mach, *Science of Mechanics*, pp. 496, 505-507.

²³ Tentang kemungkinan idealis transendental juga sekaligus adalah realis empiris lihat Kant, *Critique of Pure Reason*, trans. by N. K. Smith (London: MacMillan, 1953 [1781]), A370.

²⁴ Mach, *Science of Mechanics*, pp. 484-485.

sebagai sumber penarikan kesimpulan tentang kausalitas, Mach melihatnya sebagai objek pikiran dengan tujuan ekonomis.

Mach mengganti konsep kausalitas Kantianis dengan meminjam konsep fungsi dari matematika,²⁵ dan mendefinisikan kausalitas sebagai pernyataan tentang ketergantungan (fungsional) suatu gejala terhadap gejala yang lain. Dengan demikian kausalitas juga tidak bersifat mekanis. Kausalitas tumbuh sebagai corak pikir yang, boleh jadi, demikian Mach menduga, mengalami penyempurnaan dalam perkembangan spesies. Dengan langkah ini, Mach memutuskan ikatan antara kausalitas dan realisme empiris. Dengan alasan itu, Ernst Cassirer menempatkan Mach sebagai ilmuwan yang membawa indeterminisme ke dalam fisika jauh sebelum kelahiran teori kuantum.²⁶

Mach menolak cara pandang deterministik dan mekanistik karena kerangka pikir itu ia nilai terlalu kaku untuk menggambarkan alam, seakan-akan sejumlah akibat senantiasa terjadi mengikuti sejumlah penyebab.²⁷ Alam terlalu rumit dan tidak mungkin dimengerti lewat satu pendekatan, apalagi yang diandaikan berlaku universal. Bersama ahli kimia Wilhelm Ostwald, Mach adalah pengkritik utama interpretasi mekanistik atas gejala-gejala fisika yang dominan pada abad ke-18 dan 19. "Bahwa kita memiliki pengetahuan yang sempurna tentang proses-proses mekanis alam, dapatkah dan haruskah kita, karenanya, menyalakan semua proses lain yang tidak kita pahami? Ini menyangkal eksistensi seluruh dunia ... kita tidak lagi mengenali realitas."²⁸ Mach menerima kecenderungan pandangan mekanistik sejauh sebagai analogi, tetapi ia berpendapat bahwa arah fisika sudah jauh berkembang melampaui kebutuhan analogi semacam itu.

25 Mach, *Science of Mechanics*, pp. 502-503, 555, 579. Bdk. Mach, *Analysis of Sensations*, p. 89.

26 Ernst Cassirer sebagaimana dikutip dalam Michael Stöltzner, "Vienna Indeterminism II: From Exner's Synthesis to Frank and von Mises" (2002; preprint) <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/624>. Bdk. Michael Stöltzner, "Vienna Indeterminism: Mach, Boltzmann, Exner," *Synthese* 119, No. 1/2, Ludwig Boltzmann "Troubled Genius as Philosopher" (1999), pp. 85-111.

27 Mach, *Analysis of Sensations*, p. 89. Lihat *Science of Mechanics*, p. 484 ff.

28 Mach, *Popular Scientific Lecture*, p. 159.

Mach memang secara harafiah menulis “alam berperilaku seperti mesin.”²⁹ Akan tetapi, sangat keliru kalau pernyataan itu ditafsirkan sebagai petunjuk bahwa Mach mengandaikan adanya hukum-hukum mekanis universal dalam alam. Penafsiran semacam itu terjadi kalau kalimat tersebut dicopot secara ceroboh dari sebuah paragraf panjang, yang persis menunjukkan penolakan Mach terhadap pengandaian itu. Berikut adalah paragraf termaksud yang penulis kutip cukup panjang agar tidak lolos dari konteksnya:³⁰

Alam berperilaku seperti mesin. Bagian-bagian individual satu sama lain saling menentukan. Namun sementara dalam sebuah mesin posisi satu bagian menentukan posisi *semua* bagian lainnya, dalam alam relasinya jauh lebih rumit. Relasi-relasi ini paling baik dikemukakan melalui konsepsi sebuah bilangan, n , yang besarnya memenuhi persamaan-persamaan dengan bilangan lebih kecil, n' . Kalau $n = n'$, alam tidak akan berubah. Kalau $n' = n - 1$, maka dengan satu kuantitas seluruh dunia dapat dikontrol ... Namun duduk perkara sesungguhnya diwakili oleh suatu relasi antara n dan n' yang berbeda. Kuantitas yang dipermasalahkan itu sebagian ditentukan oleh satu sama lain; tetapi mereka mempertahankan indeterminasi, atau kebebasan, yang lebih besar ketimbang kasus yang baru saja disebutkan. Kita sendiri merasa bahwa kita adalah elemen alam yang hanya sebagian ditentukan, sebagian tidak ditentukan

Dalam paragraf di atas, Mach menggambarkan sebuah dunia tanpa peubah (variabel) jika jumlah faktor n di dunia sama dengan jumlah persamaan n' yang menatannya. Cukup jelas dari kalimat berikutnya, kemungkinan dunia yang sedemikian pasti itulah yang ia tolak.

Sebagaimana ditunjukkan oleh Zawirski, orientasi biologis Mach terhadap teori pengetahuan membuat Mach cenderung melihat justru ada indeterminisme matematis dalam peristiwa-peristiwa alam semesta. Dalam penafsiran Zawirski, yang meninjau teori evolusi pengetahuan Mach melalui kacamata Bergson, perubahan dan indeterminasi adalah dua aspek saling melengkapi dari sebuah fakta dasar yang sama, yaitu

29 Mach, *Science of Mechanics*, pp. 224-225.

30 Mach, *Science of Mechanics*, pp. 224-225; cetak miring oleh Mach.

ketaklengkapan temporal dunia.³¹ Terlepas dari penafsiran Zawirski, Mach sendiri memang menyebut corak niscaya ketaklengkapan filsafat (baca: pengetahuan) dan persepsi. Karena itu ia menilai Laplace dan para ensiklopedis Perancis abad ke-18 terlalu melebih-lebihkan kemampuan sains.

Mach menolak pandangan bahwa prinsip-prinsip fisika-mekanika telah berhasil membawa manusia mendekati sains yang hampir-hampir final. Ia menilai keyakinan itu dilandasi oleh mitologi mesin, bukan sains. Ia bersimpati pada sukacita intelektual para pendahulunya itu, tetapi ia juga menulis, "Filsafat tertinggi para ilmuwan," tulis Mach, "persis adalah *menanggung* ketaklengkapan konsepsi tentang dunia serta pilihan pada (ketaklengkapan: penulis) itu *ketimbang* sebuah konsepsi yang sempurna tetapi tidak memadai."³² Alam "ibarat selebar tenun yang jalinannya berbelit-belit, yang perlu diikuti dan ditelusuri, sekarang dari titik ini, sekarang dari titik itu. Namun janganlah pernah membayangkan ... kemajuan sepanjang jalan-jalan yang pernah ditelusuri itu merupakan *satu-satunya* cara mencapai kebenaran."³³

FAKTA SEBAGAI HIMPUNAN RELASI PENCERAPAN

Kekeliruan lain yang cukup mendasar dan tersebar luas tentang positivisme adalah pemahaman seolah-olah positivisme membangun pengetahuan hanya dengan menyalin fakta. Semua bentuk positivisme menolak pendapat bahwa fakta murni dapat menghasilkan pengetahuan. Hubungan antara teori dan data baik pada awal maupun akhir kegiatan ilmiah terungkap dengan jelas dalam kata-kata Comte, "Tidak ada pengetahuan sejati yang semata-mata bertumpu ke fakta observasi."³⁴

31 Lihat Mach, *Science of Mechanics*, p. 465. Zawirski (dibahas dalam Miliè Èapek, "Ernst Mach's Biological Theory of Knowledge," *Synthese* 18, No. 2/3, A Symposium on Ernst Mach (April, 1968), pp. 187-188. Èapek, "Ernst Mach's Biological Theory," p. 188.

32 Mach, *Science of Mechanics*, pp. 464-465; cetak miring oleh Mach.

33 Mach, *Popular Scientific Lectures*, p. 216; cetak miring oleh Mach.

34 August Comte, *Positive Philosophy*, Vol. I, p. 27. Seperti Comte, Mach juga menekankan fakta sebagai sumber pengetahuan, tetapi ia mengutip Whewell yang menegaskan bahwa sains memerlukan fakta dan ide. "Di dalam pikiran, sains melengkapi fakta yang hanya sebagian terberi" (Lihat Mach, *Popular Scientific Lectures*, pp. 232, 253).

Cukup pasti, Comte dan Mach menolak empirisisme model Bacon. Comte menyebut empirisisme model Bacon sebagai empirisisme murni. Kendati fakta merupakan elemen penting dalam merumuskan dan menguji hukum ilmiah, semata-mata fakta tidak akan menghasilkan pengetahuan yang sistematis. Comte menekankan hubungan observasi dengan teori khususnya dalam sosiologi, mengingat fakta sosiologis tidak mudah dipersepsikan. Tanpa panduan teori, fakta tidak bermakna bagi sains. Prinsip-prinsip teoretis itulah yang memungkinkan bermacam-macam fakta saling berhubungan.³⁵ Meski demikian, Comte tidak secara khusus menjelaskan fakta. Ernst Mach meninjaunya melalui teori persepsi.

Mengikuti Hume, Mach berpendapat bahwa manusia tidak mengalami dunia secara langsung. Kita hanya mengalami pencerapan-pencerapan (*sensations*). Dari sini Mach mendefinisikan fakta sebagai himpunan pencerapan inderawi yang saling berhubungan dan saling bergantung. Persepsi menata relasi di antara berbagai pencerapan inderawi, sehingga apa yang kita nyatakan sebagai objek persepsi adalah himpunan rumit relasi pencerapan. Pikiran kita tentang objek adalah representasinya. Pencerapan bukanlah penanda benda-benda. Benda adalah simbol-pikiran bagi sehimpunan pencerapan yang relatif *ajeg*. Kita menyebut keseluruhan himpunan pencerapan dengan sebuah nama (misalnya, meja) karena kita perlu secara serentak mengemukakan semua isi pencerapan.³⁶ Dengan kata lain, benda adalah konsep penataan atau sarana mental untuk mengelompokkan, menghubungkan, dan mengidentifikasi pola relasi di antara pencerapan.³⁷

35 Comte, *Positive Philosophy*, pp. 26-27.

36 Mach, *Science of Mechanics*, pp. 482-483. Bdk. *Analysis of Sensations of Sensations*, p. 29.

37 Sebuah meja, misalnya, adalah totalitas isi pencerapan visual yang tertata secara spasial dan mengandung elemen-elemen yang konstan (hitam, keras, coklat, dlsb), meski meja itu sendiri bukan rangkaian pencerapan yang konstan. Warna coklat bisa saja lebih terang atau gelap bergantung pencahayaan. Begitu juga dengan fakta psikis seperti kesadaran. Kesadaran berisi rangkaian ingatan, kata, perasaan, dlsb. yang relatif konstan, sehingga aku dapat mengenalinya sebagai kesadaran. Akan tetapi, rangkaian elemen yang membangun kesadaran bukan sesuatu yang tetap. Sebagaimana tidak ada substansi meja, substansi kesadaran juga tidak ada. Dalam pemikiran Mach, konsep substansi tidak bermakna.

Mach kemudian menggunakan istilah “elemen” sebagai ungkapan netral untuk menggantikan “pencerapan.” Perlu dicatat di sini, bahwa elemen-elemen tidak dihasilkan oleh benda-benda. Sebaliknya, elemen-elemen itulah yang membentuk objek persepsi. Sementara pengertian netral berarti elemen bukan merupakan sesuatu yang sadar ataupun tak sadar. Elemen juga tidak bersifat objektif ataupun subjektif, dan tidak bersifat mental ataupun material. Elemen sedemikian sederhana sehingga tidak lagi dapat diciutkan ke entitas yang lebih mendasar, “setidaknya sampai saat ini.”³⁸ Paham monisme netral ini, yang sudah dimulai oleh Hume dalam *A Treatise of Human Nature* (1739), menempati posisi penting dalam epistemologi Mach yang kemudian dikembangkan oleh William James, Rudolf Carnap dan Bertrand Russell.³⁹

Elemen-elemen netral inilah yang menyediakan landasan yang real, langsung serta mendasar bagi penyelidikan ilmiah. Dalam positivisme Mach, elemen netral tidak lain adalah fakta terberi. Pencerapan atau elemen adalah bagian dari pengalaman, tetapi sekaligus juga merupakan peristiwa fisis. Karena bersifat netral, bidang ilmu yang berbeda-beda dapat bertumpu di atas elemen yang sama. Ia menjelaskan, “*hanya* dalam kaitan dan relasi tertentu, *hanya* dalam ketergantungan fungsionalnya, elemen-elemen adalah pencerapan-pencerapan. Dalam relasi fungsional yang lain, pada saat yang sama, elemen-elemen adalah objek-objek fisis.”⁴⁰ Ketika relasi terjadi di luar pengamat, Mach menyebutnya sebagai fakta fisis. Misalnya, sebatang kayu hitam lurus. Namun ketika variasi tatanan elemen berelasi fungsional dengan pengamat, Mach menyebutnya sebagai fakta mental atau psikis. Misalnya, ketika sendok itu kita masukkan

38 Mach, *Knowledge and Error* (Dordrecht: Reidel, 1976 [1905]), p 44.

39 Secara ontologis, monisme netral berpegang pada keyakinan bahwa realitas terbangun dari entitas tunggal yang bukan fisis ataupun psikis, bukan material ataupun mental. Namun, monisme Mach lebih bersifat epistemologis menyangkut elemen-elemen netral sebagai sumber bagi pengetahuan ilmiah. Sejauh menyangkut sains, Mach tampaknya tidak terlalu memusingkan perkara ontologi. Secara kualitatif, sains tidak menjelaskan apa-apa tentang gejala kecuali yang terkandung dalam hasil observasi atau eksperimen. Gambar apapun yang diberikan oleh sebuah teori, atau apakah data berisi fakta psikis atau fisis, “fakta aktual dan relasi-relasi fungsional tidak berubah” (Mach, *Analysis of Sensations*, pp. 36-37).

40 Mach, *Analysis of Sensations*, pp. 16-17; 29; cetak miring oleh Mach.

ke dalam segelas air dan terlihat bengkok (meski tetap lurus ketika kita sentuh).

Mach yakin bahwa ia sudah dapat mengatasi jurang yang selama ini terbentuk antara dunia material dan dunia mental. Ia menggolongkan problem dualisme tubuh-jiwa model Descartes sebagai problem semu. Tidak ada pemilahan yang tajam antara aku dan tubuhku,⁴¹ karena secara generik tidak ada perbedaan antarelemen. Di satu pihak tubuh adalah benda, tetapi di lain pihak tubuh berbeda dengan benda-benda pada umumnya. Lalu bagaimanakah Mach menafsirkan 'sang aku' (*the "I"; "Ego"*)? Ia menafsirkan ego sebagai himpunan ingatan, suasana hati, dan perasaan (*complex of memories, moods and feelings*) yang relatif permanen, yang bergabung secara fungsional ke sebuah tubuh tertentu (tubuh manusia). Hal-hal yang selama itu dikenali sebagai 'relasi objektif' menunjuk ke ketergantungan antarelemen-elemen kebendaan, sedangkan 'relasi subjektif' mengemukakan hubungan antara sang aku dan rangkaian elemen kebendaan.

Berbeda dengan Comte, Mach menimbang fakta psikis sebagai sumber pengetahuan yang sama penting dan sama sahnya dengan fakta fisis. Ia tidak membedakan keduanya. Membatasi pencerapan hanya pada salah satu aras, atau melawankan fakta fisis dengan fakta psikis, bagi Mach, hanya menghidupkan kembali dualisme metafisis yang ia anggap sia-sia. "Dalam lingkup pencerapan segala sesuatu sekaligus fisis dan psikis."⁴² Yang psikis dan yang fisis hanyalah sebutan bagi relasi-relasi berbeda di antara fakta terberi dan fakta-fakta lainnya. Fakta terberi terdiri dari elemen seperti warna, suara, rasa, dan bau.

Sebagai satuan epistemologis, elemen-elemen dapat dilihat sebagai pengembangan dan penghalusan 'ide-ide' (*ideas*) dan 'kesan' (*impressions*)

⁴¹ Mach, *Analysis of Sensations*, pp. 3-5.

⁴² Lihat Mach, *Analysis of Sensations*, p. 46. Dalam teks lain Mach menegaskan "*Saya lihat, dengan demikian, tidak ada pertentangan yang fisis dan yang psikis, tak ada dualitas, tetapi semata-mata identitas*" [Mach, "Facts and Mental Symbols," in *Contributions to Analysis of the Sensations*, trans. A. M. Williams (Chicago: The Open Court Publishing Company, 1807), Appendix I, pp. 185-196]; cetak miring oleh Mach.

yang digunakan para empirisis abad ke-18. Bedanya dengan Hume, misalnya, Mach menimbang relasi antarelemen bukan sebagai sesuatu yang ditambahkan oleh imajinasi, melainkan apa yang secara tidak langsung kita jadikan acuan ketika membuat pernyataan tentang objek. Empirisisme Mach sedikit melampaui skeptisisme Hume yang tidak memungkinkan adanya landasan bagi pengetahuan. Perbedaan itu juga mengemuka dalam sebuah catatan harian (1882, 1884). Ia menulis bahwa relasi juga merupakan sesuatu yang terberi seperti elemen, “Elemen-elemen dan hubungan. Hubungan juga sebuah fakta. Fakta jenis apa? Batin-kah?”⁴³ Elemen-elemen Mach memiliki ketergantungan fungsional satu dengan yang lain. Sebagaimana William James dan Henri Poincaré, Mach memperlakukan relasi antarelemen bersifat nyata dan dapat ditunjukkan. “Orang mengenali relasi-relasi...persamaan-persamaan...sebagai permanensi melekat yang memungkinkan sebuah gambar dunia yang stabil.”⁴⁴ Dalam sains, hanya pernyataan tentang relasi yang bermakna.

Ontologi realis mengenai relasi mempengaruhi pengertian Mach tentang sains. Sejauh menyangkut konsep, hukum, dan teori, Mach menimbanginya sebagai kaidah mental tanpa kandungan semantik. Teori adalah bingkai untuk mengkonstruksikan ketergantungan fungsional antarelemen. Sedangkan hal yang menyangkut aspek unik pengalaman atau peristiwa-peristiwa partikular, Mach menafsirkannya secara realis berdasarkan kesalingtergantungan fungsional elemen-elemen netral yang membangun fakta. Ia, misalnya, menilai deret Fourier sebagai deskripsi langsung dan kongkret atas gejala penghantaran panas, tetapi ia menyatakan teori atom sebagai deskripsi tidak langsung sehingga hanya sah secara hipotetis.⁴⁵ Sebagaimana akan terlihat selanjutnya, ia tidak dapat digolongkan ke dalam fenomenalisme (ontologis). Henri Poincaré me-

43 Dikutip dalam Banks, “Philosophical Roots,” p. 26.

44 Mach, *The Principles of the Theory of Heat. Historically and Critically Elucidated* (New York: Springer-Verlag, 1986 [1919]), p. 390; *Popular Scientific Lectures*, p. 212.

45 Pandangannya ini memicu perdebatan tajam dengan Max Planck sampai Mach menulis, “kalau kepercayaan terhadap realitas atom sedemikian hakiki, saya akan menanggalkan cara berpikir fisikawan...saya akan mengembalikan semua pengakuan ilmiah...” [dikutip dalam Bode, “Ernst Mach and the New Empiricism,” *The Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods* 13/11 (1916): 282].

ngembangkan pemikiran yang serupa mengenai ontologi relasi, yang kemudian membuat ia dikenal sebagai pencetus “konvensionalisme” di dalam filsafat sains.

Rumusan positivisme Mach tampaknya sedikit lebih hati-hati dibandingkan Comte. Mungkin ini alasan positivisme Mach disebut sebagai positivisme kritis yang dekat dengan *empirio-criticism* Avenarius. Mach juga mengakui bahwa ada beberapa pokok pemikiran dia yang sejajar dengan Avenarius.⁴⁶ Kesamaan antara positivisme klasik Comte dan kritisisme empiris Mach terletak dalam penekanan pada pentingnya daya prediktif sains serta peran verifikasi empiris untuk menguji proposisi-proposisi sains.

FENOMENOLOGISME SEBAGAI METODOLOGI

Karena hanya relasi yang punya makna bagi sains, Mach memandang tugas ilmuwan bukanlah menyelidiki objek-pada-dirinya. Tugas ilmuwan adalah “menggantikan, atau *menyelamatkan*, pengalaman.”⁴⁷ Max Planck menolak keras epistemologi Mach yang berorientasi biologis dan ia nilai sangat antropomorfis. Tujuan sains bukan adaptasi ide-ide kita ke persepsi, kata Planck. Sains ingin mendapatkan gambaran dunia yang *ajeg*, yang tidak bergantung pada variasi waktu dan orang. Planck mengemukakan keherannya, bagaimana bisa teori Mach mempunyai banyak pengikut? Padahal, kata Planck lagi, positivisme Mach hanyalah sebuah kekecewaan saja, sebuah reaksi terhadap kepongahan generasi fisika sebelumnya. Planck menilai Mach merusak kriteria yang paling mendasar di dalam semua penelitian ilmiah, sekaligus tujuan yang ingin dicapai sains yaitu “pembebasan sepenuhnya gambaran dunia dari individualitas pemikiran.”⁴⁸

46 Lihat Mach, “How My Views have been received,” in *Analysis of Sensations*, pp. 354-362; Bdk. Richard von Misses in Cohen and Seeger, pp. 265-266.

47 Mach, *Science of Mechanics*, p. 481.

48 Max Planck, *A Survey of Physical Theory*, trans. R. Jones and D. H. Williams (New York: Dover Publications, Inc., 1960 [1909]), pp. 24, 25.

Dengan hati-hati Planck menegaskan bahwa ia tentu tidak bermaksud mengatakan sains dapat sepenuhnya terbebaskan dari elemen-elemen antropomorfis. Tetapi, konsepsi Mach sama sekali tidak menyuguhkan *kejegan*. Dalam upaya memperoleh sains yang non-antroposentris dan *ajeg* itulah Planck membangun satuan-satuan fisika yang tidak bergantung pada objek ataupun substansi tertentu. Satuan itu, yang ia sebut sebagai Satuan Alami (*Natürliche Masseinheiten*), diperoleh dari langkah yang berbeda dibanding satuan sentimeter, yang diturunkan dari ukuran keliling Bumi. Satuan Planck menggunakan konstanta fisika (gravitasi, kecepatan cahaya, dll. yang tidak berubah) sehingga berlaku “sepanjang waktu dan untuk semua kultur di luar bumi dan adimanusia ... sehingga mahluk Mars, dan bahkan semua mahluk cerdas dalam alam semesta kita, mesti suatu waktu menemukannya—kalau bukan malah sudah.”⁴⁹

Mach menjawab kritik Planck. “Umumnya, dalam setiap observasi, dalam setiap opini, baik lingkungan maupun pengamat masuk ke dalam ungkapan ... fisika yang berlaku sepanjang masa dan bagi semua orang termasuk mahluk Mars bagi saya sangat prematur, bahkan mirip lelucon.”⁵⁰ Bahwa dimensi konstitutif sains senantiasa melibatkan faktor pengamat, tidak berarti bahwa sains melulu subjektif. Mach percaya bahwa lewat metode yang ketat, elemen subjektif pengetahuan dapat sedikit demi sedikit dikurangi. Metode empiris membatasi konsep-konsep ilmiah pada aspek pengalaman yang teruji secara publik. Termometer, contohnya, menyediakan nilai yang terukur secara publik bagi pencerapan pribadi atas panas, dingin, hangat, atau sejuk.

Empirisisme Mach melahirkan fenomenalisme epistemologis dan metodologis. Mach sendiri menyebutnya “fisika fenomenologi” untuk melawankannya dengan fisika mekanistik.⁵¹ Ludwig Boltzmann juga

49 Planck, *A Survey of Physical Theory*, p. 18.

50 Mach (1910), sebagaimana dikutip dalam J. L. Heilborn, *The Dilemmas of An Upright Man: Max Planck and the Fortunes of German Science* (Berkeley: University of California Press, 1986), p. 54.

51 Mach, *Popular Scientific Lecture*, p. 250.

memperkenalkan istilah fenomenologi fisika-matematik (*mathematico-physical phenomenology*) yang ia sebut sebagai cara baru untuk merekonstruksi fakta.⁵² Fisika fenomenologi mengambil hasil-hasil deskriptif kegiatan eksperimen sebagai titik berangkat. Tujuannya adalah mendeskripsikan secara matematis hasil-hasil eksperimen menyangkut fenomena tertentu, tanpa relasi deduktif dengan teori-teori baku yang sudah ada. Deskripsi matematis tersebut digunakan untuk membuat prediksi, yang kemudian diuji lagi secara empiris.

Mach ingin mengarahkan fisika-matematika ke sepenuhnya deskripsi tentang gejala.⁵³ Apabila ini dapat dilakukan, elemen teoretis tidak lagi diperlukan. Contoh paling nyata tentang cara kerja ini ia temukan dalam karya Robert Mayer yang merumuskan hukum pertama termodinamika (hukum kekekalan energi). Mayer, yang oleh Mach disebut sebagai orang dengan pikiran modern bercorak Galileo, melihat hubungan kesetaraan numerik antara energi mekanik dan panas, tetapi merasa tidak perlu menyibukkan diri dengan hakikat panas. Cukuplah bahwa panas, gerak, dan energi kinetik dapat saling beralih bentuk. Mach mencatat bahwa Mayer juga membatasi fisika pada ungkapan fakta aktual dan menolak pembentukan hipotesis atau rekonstruksi teori untuk menjelaskan proses

52 Lihat Ludwig Boltzmann, "On The Necessity of Atomic Theories in Physics," trans. T.J. McCormack, *The Monist* 12/1 (October, 1901): 65. Sejak abad ke-18, fenomenologi berarti teori tentang penampakan. Istilah ini digunakan dalam ilmu-ilmu empiris. Kant dan Hegel juga menggunakan istilah itu. Brentano memakainya untuk psikologi deskriptif sebelum akhirnya digunakan oleh Husserl. Mach menggunakannya untuk fisika dan sampai sekarang masih berlaku.

53 Istilah 'fenomenologi' di sini tidak sama dengan yang digunakan Husserl, kendati dalam Amsterdam Lectures, Husserl menyebut bahwa ciri gerakan fenomenologis yang ia bangun merupakan kelanjutan sekaligus radikalisasi pendekatan Mach dan Ewald Hering: "Sains baru ini disebut fenomenologi karena ... dikembangkan dengan cara meradikalisasikan metode fenomenologis sebelumnya yang dituntut dan diterapkan beberapa ilmuwan dan psikolog" [Edmund Husserl, *Psychological and Transcendental Phenomenology and Confrontation with Heidegger* (1927-1931), translated and edited by Thomas Sheehan and Richard E. Palmer (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997), p. 213]. Baik Mach maupun Husserl sama-sama bicara tentang deskripsi murni pengalaman. Fenomenologi Husserl juga tidak membuat pernyataan tentang eksistensi, melainkan mempertanyakan artinya sesuatu menampakan diri pada kesadaran? Seberapa jauh persisnya hubungan yang dimaksud Husserl, masih memerlukan kajian lebih lanjut [Lihat NN, "Problems of Philosophy. Problem #10: Husserl as a Successor of Mach," *Synthese* 115/2 (May, 1998): 267].

di belakang gejala.⁵⁴ Mach menutup pembahasannya tentang kekekalan energi dengan menulis, "... teori ibarat daun-daun kering yang berguguran ketika mereka gagal menjadi paru-paru bagi pohon sains."⁵⁵

Dalam fisika kontemporer, fisika fenomenologi merupakan bidang yang tumbuh subur dan merupakan bagian dari fisika teori bersama dengan fisika fundamental. Fisika fenomenologi mempelajari gejala-gejala pada aras deskriptif ketika teori-teori baku yang sudah teruji (misalnya teori gravitasi Newton, teori elektromagnetik Maxwell) tidak dapat menjelaskan gejala eksperimental. Fisika fenomenologi juga dimaksudkan sebagai jembatan antara teori dan eksperimen serta untuk mengklarifikasi teori-teori yang telah diajukan sebelumnya. Para fisikawan fenomenologi sependapat dengan Mach bahwa model fenomenologis tidak dituntut untuk menjelaskan mengapa beberapa gejala memperlihatkan perilaku. Model dianggap memadai sejauh dapat memaparkan apa yang terjadi dan dapat menghasilkan prediksi gejala baru.

Cohen menafsirkan sains model Mach sebagai sains yang mendeskripsikan dunia sebagaimana kita mengalaminya, bukan sains yang mau mengerti dunia sebagaimana adanya. Bisa dibilang, Mach membangun positivismenya di atas pengalaman fenomenologis ilmuwan. Cohen menggambarkan sains model Mach sebagai sarana untuk membantu manusia menempuh jalan kosmik kehidupan, bukan sarana untuk menguasai alam.⁵⁶ Itulah sebabnya Cohen menyetarakan positivisme Mach dengan "nasihat Bacon tentang sikap ughari dan *eling* dalam versi baru yang lebih baik."⁵⁷ Apalagi, dalam perspektif Mach manusia tidak mungkin melampaui orientasi—sebagai—spesies dalam membangun pengetahuan. Positivisme Mach adalah "upaya keras kepala

54 Mach, *Science of Mechanics*, pp. 249-250, 496.

55 Lihat Mach, *Principle of the Conservation of Energy*, p. 74.

56 Cohen, "Physics, Perception," p. 132.

57 Cohen, "Physics, Perception," p. 132. Bdk. Mach, *Analysis of Sensations*, p. 24.

seorang positivis untuk menemukan alternatif bagi objektivitas,” demikian ia menyimpulkan.⁵⁸

Melalui fisika fenomenologi, Mach mau menemukan metode yang impersonal. Metode itu bermaksud melampau subjektivitas dan intersubjektivitas, tanpa perlu mencapai objektivitas yang diidealkan Bacon. Seperti dicatat Cohen, Mach sebetulnya menghindari penyebutan “metode ilmiah yang objektif” supaya orang tidak terjebak dalam ilusi bahwa kesimpulan ilmiah merupakan bentuk final pengetahuan. Mach menekankan kepastian bukan pada aras pengetahuan itu sendiri, melainkan pada aras metode. Kendati kesimpulan-kesimpulan sains bersifat sementara, tetapi landasan metodologisnya tidak subjektif.⁵⁹

POSITIVISME SESUDAH MACH

Kendati menerima banyak kritik, khususnya dari Boltzmann, Planck, Husserl dan Einstein, fisika fenomenologi Mach cukup ampuh secara metodologis. Sampai hari ini fisika fenomenologi membuahkan hasil-hasil penelitian yang penting. Prinsip ekonomi Mach juga terbukti ampuh untuk memilah beberapa hipotesis yang saling bersaing. Fisika fenomenologi membatasi tugas ilmuwan pada pengetahuan tentang relasi, dan membebaskannya dari tugas merumuskan dengan cermat dan pasti substansi yang memicu gejala. Dengan alasan itu, Cassirer melihat Mach sebagai orang yang melakukan titik balik metodologis dalam fisika, dengan menggeser ide tentang permanensi materi ke permanensi relasi.⁶⁰ Di tangan Henri Poincaré, permanensi relasi melahirkan realisme struktural dalam sains.⁶¹ Dalam pengertian kontemporer, ide ini dikembangkan oleh Roy Bhaskar (1975) dengan sebutan realisme kritis.

58 Cohen, “Physics, Perception,” p. 132.

59 Cohen, “Physics, Perception,” p. 132. Bdk. Richard von Mises, “Mach and the Empiricist Conception of Science,” in Cohen and Seeger (1970), pp. 265-266.

60 Ernst Cassirer, *The Theory of Knowledge, Philosophy Science, & History since Hegel*, trans. William H. Woglom and Charles W. Hendel (New Haven: Yale University Press, 1950), p. 93.

61 Poincaré menyumbang banyak bagi teori pengetahuan yang melampaui Mach. Secara

Positivisme Mach juga mempengaruhi Niels Bohr, Werner Heisenberg dan Wolfgang Pauli dalam melahirkan teori kuantum. Akan tetapi, sesudah perkembangan teori kuantum dan teori relativitas Einstein, epistemologi Mach terbukti terlalu sederhana. Pandangan Mach bahwa teori adalah rekonstruksi fakta, membuat teori seolah-olah hanya merumuskan reproduksi fakta. Sementara hukum pun tampak sebagai sekadar katalog fakta yang tidak memiliki nilai kognitif tersendiri dibandingkan pencerapan. Tuntutan untuk meninggalkan sistem fenomenalistik Mach muncul dari dalam fisika sendiri. Fisika abad XX berkembang di atas konsep-konsep yang tak kasat indera seperti medan elektromagnetik, atom, kuantum, dlsb. Perkembangan ini melahirkan masalah baru. Bagaimanakah menafsirkan konsep-konsep abstrak tersebut?

Jawaban atas pertanyaan itu datang dari beberapa anggota Lingkaran Wina (LW). Mereka melihat kelemahan Mach terletak dalam aspek logis-formal sains sehingga jurang antara deskripsi fakta dan prinsip-prinsip umum sains tidak terjembatani. Para anggota LW menunjukkan, tidak sebagaimana andaian Comte dan Mach, di antara observasi dan prinsip-prinsip fisika terdapat rantai argumen matematis-logis yang panjang.⁶² Dengan mengadopsi konvensionalisme Poincaré,

singkat dapat dikatakan bahwa Poincaré memilah sains ke dalam dua komponen, yaitu komponen faktual yang berisi relasi di antara entitas-entitas fisis dan terejawantahkan dalam perumusan hukum, dan komponen formal hasil konvensi. Jadi orang dapat mengganti ungkapan “gerak” (Fresnell) di kemudian hari dengan “arus listrik” (Maxwell). Pemilihan ungkapan itu bersifat konvensi, sementara yang faktual dan tidak berubah adalah relasi. Bagi Poincaré, entitas-entitas fisis itu sendiri tidak diketahui, meski ia percaya entitas-entitas itu secara ontologis ada dan membangkitkan gejala yang teramati.

62 Mach bukannya tidak menyadari kelemahan itu. Dalam pengantar *The Science of Mechanics*, ia menulis bahwa ia memusatkan perhatian hanya pada aspek empiris karena berbagai pertimbangan, meski sebetulnya mekanika juga memerlukan penyelidikan aspek logis [Lihat Philipp Frank, “Mach and the Empiricist Conception of Science,” in Cohen and Seeger (1970), p. 267; Bdk. Phillip Frank (1949) sebagaimana dikutip Thomas Uebel, “The Enlightenment Ambition of Epistemic Utopianism,” in Ronald Giere & Alan Richardson, eds., *The Origin of Logical Empiricism, Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. XVI (Minneapolis: University of Minnesota Press, 1996), p. 96]

para positivis logis melampaui Mach dan meninggalkannya. Mereka memilah formulasi teori-teori ilmiah ke ungkapan observasi dan ungkapan teoretis. Ungkapan observasi (misalnya panjang, berat, merah) merekam proses-proses yang teramati, sedangkan ungkapan teoretis (misalnya elektron, tensor metrik, kuantum) menjembatani relasi antara pengamatan dan sistem penjelasan ilmiah.⁶³

Carnap menyadari bahwa ungkapan-ungkapan observasi tidak sepenuhnya dapat mendefinisikan pernyataan teoretis. Pernyataan teoretis juga tidak dapat ditafsirkan secara semantik sebagaimana pernyataan observasi. Faktanya, fisika semakin mengarah ke “konstruksi, pengujian, dan penerapan teori-teori yang kita sebut formalisasi, yaitu konstruksi kalkulus ditambah interpretasi.”⁶⁴ Dengan pengertian itu, ilmuwan dapat membangun komponen teoretis berdasarkan konvensi, tanpa mempengaruhi pernyataan-pernyataan observasi dan terutama tidak perlu menaruh komitmen ontologis pada komponen teoretis tersebut. Positivisme logis juga meneruskan ide Mach tentang sains terpadu, tetapi menciutkannya ke reduksi fisikalistik yang tidak ada dalam gagasan Mach.

Pengaruh Mach pada filsafat abad XX dan XXI, khususnya filsafat analitik, masuk lewat LW. Fenomenologi sebagai metode (deskripsi) tentang gejala murni kesadaran dikembangkan oleh Husserl dalam bentuk berbeda dan di atas kritik terhadap positivisme Mach.⁶⁵ Ketika Mach meninggal tahun 1916, Einstein menjelaskan mengapa Mach “yang tenang dan cermat” banyak disalahpahami sebagai penganjur idealisme dan solipsisme. Alasannya, karena bagi Mach sains tidak lebih daripada

63 Ada perdebatan yang keras di antara anggota LW tentang kalimat observasi dan kalimat teoretis, khususnya antara Otto Neurath dan Schlick serta Carnap. Bagi Neurath, pun kalimat observasi tidak lepas dari teori (lihat Thomas E. Uebel, *Rediscovering the Forgotten Vienna Circle*, Boston Studies in the Philosophy of Science Vol. 13 (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1991), pp. 176-189.

64 Rudolf Carnap, “Foundations of Logic and Mathematics,” in Neurath, Carnap & Morris (eds.), *International Encyclopedia of Unified Science*, Vol. I (Chicago: University of Chicago Press, 1939), p. 209.

65 Lihat catatan kaki no. 53.

sekadar membandingkan dan menata pengamatan-pengamatan kita menurut metode dan sudut pandang yang kita pelajari dengan cara ralat dan galat (*trial and error*).⁶⁶ Mach memang pernah mengeluh karena gagasannya sering disamakan dengan idealisme subjektif Berkeley. Ia mengakui pengaruh paham idealisme dalam pemikirannya sehingga bahasa yang ia pergunakan pun masih membawa jejak dari fase tersebut. Ia juga menjelaskan bahwa ungkapan-ungkapan yang ia pakai memang kerap mengesankan bahwa ia melebih-lebihkan sensasionalisme.⁶⁷

Seperti sudah ditunjukkan di atas, posisi filosofis Mach dapat dipahami lebih jernih kalau pernyataan-pernyataannya tidak dilepaskan dari konteks keseluruhan tulisannya. Misalnya lagi, pernyataan “dunia terdiri hanya dari pencerapan-pencerapan kita” dan “dunia tidak tersusun dari ‘benda-benda’ sebagai elemen-elemennya, tetapi warna, nada, tekanan, ruang, waktu, ringkasnya apa yang sehari-hari kita sebut pencerapan individual.”⁶⁸ Kedua pernyataan itu sebetulnya lebih merupakan pernyataan epistemologis dan metodologis ketimbang ontologis. Ia menuliskannya ketika menjelaskan kebiasaan kita mengandaikan adanya substansi. Kita cenderung mengandaikan apa yang kita rasakan (panas, dingin, tajam, dlsb.) bersumber di suatu inti permanen benda, yang lalu diteruskan ke kesadaran melalui tubuh sebagai perantara. Efek dari inti permanen itulah yang lalu kita sebut sebagai pencerapan.

Asumsi tentang ‘inti permanen’ itulah yang bagi Mach tidak banyak bermanfaat untuk sains sehingga ia menyimpulkan, “Tepatlah pernyataan bahwa dunia terdiri hanya dari pencerapan-pencerapan kita. Dalam hal

66 Albert Einstein dikutip dalam Paul Arthur Schilpp, *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*. The Library of Living Philosophers, Vol. VIII (New York: MJF Books, 1970 [1949]), p. 271.

67 Mach, *Analysis of Sensations*, pp. 48, 361, 363. Lihat juga *Science of Mechanics*, p. 587. Bdk. Karl Popper yang membahas perbedaan dan persamaan ide antara Mach dan Berkeley in “A Note on Berkeley as Precursor of Mach,” *The British Journal for the Philosophy of Science* 4 (May, 1953): 26-36. Mach sendiri mengkritik idealisme, solipsisme, dan materialisme (Mach, “How My View have been Received,” in *The Analysis of Sensations*, Ch. XV, pp. 354-371).

68 Berturut-turut dalam Mach, *Analysis of Sensations* p. 12, dan Mach, *Science of Mechanics*, p. 483.

ini, kita *hanya* punya pengetahuan tentang pencerapan.”⁶⁹ Namun ia menegaskan, “... bagi saya pun dunia bukan sekadar penjumlahan pencerapan.”⁷⁰ Hanya saja, dalam dunia tempat kita mengalami kehidupan sehari-hari, kombinasi pencerapan itulah yang, bagi Mach, merupakan landasan yang memungkinkan dunia hadir di hadapan kita. Di dalam pencerapan orang menyadari adanya dunia fisis yang tidak bergantung pada manusia. Tidaklah terlalu keliru kalau pernyataan “dunia terdiri hanya ...” di atas dibaca sebagai semacam kalimat Kantianis tentang fenomena minus syarat transendental pengetahuan.

MENYINGKIRKAN KONSEP RUANG-WAKTU ABSOLUT

Mach memulai bukunya yang terkenal *The Science of Mechanics* dengan kalimat, “Maksud (buku ini: penulis) adalah menjernihkan ide-ide, mengemukakan pentingnya (mekanika: penulis), dan menyingkirkan kekaburan metafisis.” Pernyataan itu ia ulangi lagi dalam pengantar *The Analysis of Sensations*.⁷¹ Dalam penafsiran Blackmore, Mach juga menafsirkan pengertian metafisika sesuai pentahapan Comte, yaitu sebagai tahap pra-ilmiah.⁷² Tentu saja penafsiran itu perlu ditempatkan dalam bingkai epistemologi Mach dengan orientasi biologisnya.

Penolakan Mach terhadap metafisika juga digerakkan oleh kegelisahannya terhadap penafsiran metafisis atas konsep-konsep ilmiah yang merembes masuk ke dalam *Realpolitik*. Ia percaya bahwa hal itu menimbulkan penyalahgunaan yang memicu konflik internasional.⁷³ Pada tataran epistemologis, penolakan itu bertumpu di atas ide sains sebagai sarana adaptasi manusia. Untuk menghindari interpretasi yang melampaui pencerapan, Mach merumuskan ulang konsep-

69 Mach, *Analysis of Sensations* p. 12; cetak miring oleh Mach.

70 Mach, *Analysis of Sensations*, p. 363.

71 Mach, *Science of Mechanics*, p. xiv; *Analysis of Sensations*, p. xxxviii.

72 John Blackmore, *Ernst Mach: His Work, Life and Influence* (Berkeley: University of California Press, 1972), p. 327, note 1.

73 Lihat penolakannya terhadap penafsiran realis atas “ego” dan “daya” ketika digunakan secara politis dalam Blackmore, *Ernst Mach: His Work*, p. 234.

konsep ilmiah secara fenomenalistik. Ia memahami konsep sebagai hasil dua kegiatan, yaitu abstraksi selektif yang mengelompokkan sejumlah besar fakta menurut kategori tertentu, dan pertimbangan pragmatik bahwa elemen-elemen faktual itu penting bagi manusia untuk menyesuaikan pikiran ke fakta dan fakta-fakta tertentu ke fakta lainnya, ataupun satu pemikiran ke pemikiran lain.

Masalahnya, rentang reaksi biologis manusia jauh lebih sempit ketimbang keragaman fakta. Konsep membantu manusia untuk menggroupkan fakta berdasarkan rangkaian pencerapan yang muncul bersamaan, saling berhubungan dan saling bergantung. Konsep apel, misalnya, berkorelasi dengan bentuk bundar, warna merah, bau harum, permukaan keras, dlsb. Jika ada fakta sejenis tetapi tidak berkorelasi dengan bentuk bundar, maka konsep apel tidak dapat dikenakan ke himpunan elemen tersebut.

Berdasarkan pengertian itulah Mach meninjau ulang definisi Newton tentang massa yang ia nilai semu dan melingkar.⁷⁴ Newton menyatakan bahwa konsep-konsep dan prinsip-prinsip fisika disimpulkan dari gejala, kemudian dirampatkan melalui induksi. Akan tetapi, Mach sulit menyimpulkan beberapa konsep Newton dari pengalaman. Newton mendefinisikan massa melalui *quantitas materiae* yang merupakan ukuran kerapatan dan volume benda, padahal kerapatan sudah lebih dulu dinyatakan sebagai massa per satuan volume. Newton memang menambahkan pengertian jumlah atom per volume ke dalam definisi massa. Akan tetapi Mach menilai upaya Newton sia-sia karena tidak menjernihkan konsep massa. Mach memandang atom sebagai konsep *ad hoc*. Atom tidak tercerap indera dan sifatnya berbeda sama sekali dengan benda-benda kasat mata. Konsep atom tidak begitu saja dapat diterapkan untuk mendefinisikan benda-benda kasat mata. Mach tidak menolak penggunaan konsep atom dalam fisika, tetapi ia memberlakukan batasan instrumentalistik. Ia menerima teori atom sebagai model matematis untuk memfasilitasi reproduksi fakta secara mental.⁷⁵

74 Mach, *Science of Mechanics*, p. 241.

75 Mach, *Science of Mechanics*, pp. 492; 588-589.

Sebagai fisikawan eksperimentasi, Mach tentu menyadari bahwa mekanika memerlukan konsep massa. Mach membangun konsep tersebut dengan berpegang pada gagasan utamanya tentang sains, yaitu bahwa proposisi sains hanya bermakna jika memaparkan relasi antarpencerapan. Ia yakin bahwa konsep yang ia bangun secara epistemologis akan memuaskan, karena bertumpu pada corak kinetik benda-benda yang berinteraksi. Bagi Mach, pembahasan tentang gerak tidak bermakna jika benda diperlakukan sebagai objek tunggal yang bergerak relatif terhadap ruang absolut, dalam kekosongan alam semesta. Konsep massa tidak berdiri sendiri. Apalagi tak seorang pun dapat mendeteksi ruang absolut. Ia lalu menggunakan hukum ke-3 Newton yang berisi prinsip aksi dan reaksi, dan memulai argumennya dengan dakuan bahwa kelembaman⁷⁶ bukan corak melekat benda. Kelembaman adalah hasil interaksi dinamis benda dengan berbagai massa yang ada di seluruh alam semesta. Mach melibatkan seluruh bintang dalam alam semesta ke dalam dinamika sistem lokal, lalu memodifikasi gerak benda relatif terhadap ruang absolut menjadi gerak relatif terhadap sistem kelembaman yang pusatnya adalah pusat massa alam semesta. Bagi Mach, dinamika kosmos tidak dapat diabaikan, pun dalam perhitungan sederhana yang melibatkan kasus interaksi dua benda. "Pentingnya pertimbangan tentang Semua di dalam sains," demikian Mach membubuhkan catatan di samping paragraf yang berisi kesimpulan itu.⁷⁷

Konsep massa Mach bersifat relasional, yaitu kelembaman benda A relatif terhadap B ($m_A:m_B$), menggunakan elemen kinematik yang dapat diamati (efek percepatan benda B terhadap A dan sebaliknya, $a_{B/A}:a_{A/B}$). Dari perspektif fisika Newton, konsep massa relasional ini bukanlah definisi, melainkan deskripsi tentang salah satu konsekuensi perilaku massa. Meski demikian, tidak sedikit ilmuwan yang meng-

76 Kelembaman adalah kecenderungan benda untuk diam atau bergerak dengan kecepatan tetap apabila tidak ada interaksi dari luar.

77 Mach, *Science of Mechanics*, p. 235. Definisi itu menimbulkan perdebatan pro-kontra yang tidak dibahas dalam artikel ini [lihat Max Jammer, *Concept of Mass in Contemporary Physics and Philosophy* (Cambridge, MA.: Harvard, 1961); lihat juga A. Koslow, "Mach's Concept of Mass: Program and Definition," *Synthese* 18, No. 2/3 (April, 1968): 216-233].

gunakan konsep itu karena merujuk langsung ke gejala terukur itu tanpa perlu mengandaikan ruang absolut.

Einstein menyebut catatan samping Mach sebagai “Prinsip Mach.” Secara sederhana prinsip itu berbunyi, “materi disana mempengaruhi kelembaman di sini.”⁷⁸ Konsekuensi logis dari premis ini adalah alam semesta diperlakukan sebagai sebuah sistem tertutup. Artinya, tidak ada bagian alam semesta yang tidak terkena imbas materi kosmos yang senantiasa saling berinteraksi. Premis ini, dan kritik Mach terhadap ruang absolut dan waktu absolut Newton, melandasi perubahan radikal dalam fisika melalui teori relativitas Einstein. Tentu muncul pertanyaan, bagaimanakah bintang-bintang yang berjarak jutaan tahun cahaya dapat mempengaruhi kelembaman lokal di sini dan sekarang? Dalam teori relativitas umum Einstein menjawabnya melalui relasi materi dengan geometri. Wheeler menyederhanakan rumusan matematis Einstein menjadi, “*Space-time grips mass, telling it how to move, and mass grips space-time, telling it how to curve.*”⁷⁹

EKONOMI PIKIRAN, SAINS TERPADU, PENGHAPUSAN METAFISIKA

Philipp Frank, salah seorang anggota Lingkaran Wina (LW) yang gigih menjernihkan ide-ide Mach, mencoba meletakkan sikap anti-metafisika Mach ke dalam cita-cita Mach untuk membangun sains terpadu.⁸⁰ Cita-cita ini menjadi salah satu program LW yang sempat berkembang melalui gerakan sains terpadu yang dirancang secara populer oleh Otto Neurath.

Bagi Mach, sains terpadu adalah konsekuensi langsung dari rancangan yang melekat di dalam sains untuk mengejar ekonomi pikiran.

78 Versi ringkas “Prinsip Mach” tercantum dalam Misner, Thorne & Wheeler, *Gravitation* (San Francisco: Freeman & Com, 1973), p. 546.

79 Dikutip dalam Bryson Brown, “A Journey into Gravity and Spacetime,” review of “A Journey into Gravity and Spacetime,” by John A. Wheeler, *SIAM Review* 35/2 (June, 1993), p. 315.

80 Philipp Frank, “Mach and the Unity of Science,” in Cohen and Seeger, eds., *Ernst Mach Physicist and Philosopher*, pp. 235-244.

Ingatan manusia sangat terbatas, sementara kehidupan sedemikian beragam dan rumit. Pikiran manusia tidak bisa lain kecuali menempuh jalur ekonomis dalam membangun pengetahuan. Mach yang tekun menelusuri sejarah konsep-konsep ilmiah membayangkan bagaimana ide-ide bersaing layaknya hewan-hewan purba bertarung dengan brutal untuk mempertahankan hidup. Ide yang kalah punah seperti dinosaurus. Pertarungan itu pelan-pelan mentransformasikan pengalaman-pengalaman yang bersifat individual menjadi pengetahuan yang bersifat impersonal.

Seluruh proses itu menuntut orang sanggup menata dan mendeskripsikan pengalamannya secara efektif sehingga tidak kalah dalam proses seleksi.⁸¹ Dengan kata lain, ekonomi pikiran itu sendiri merupakan pengejawantahan kebutuhan manusia untuk mempertahankan hidup. Ia bagian dari proses *struggle for existence*. Seperti pisau cukur Ockham, prinsip ekonomi mental merumuskan sains sesuai dengan fakta, tanpa menambah asumsi atau hipotesis lebih daripada yang diperlukan. Semua konsep, termasuk konsep abstrak seperti ruang, waktu, kausalitas, dlsb., adalah buah pengalaman dan memegang fungsi utilitarian dan ekonomis. Beberapa ilmuwan kontemporer (Daniel Dennet, Richard Dawkins, Steven Pinker, Sam Harris) menerapkan darwinisme sosial sejenis ini untuk menjelaskan evolusi agama dan berbagai institusi sosial dalam kehidupan manusia.

Untuk memahami prinsip ekonomi secara lebih rinci, Banks membedakan prinsip ekonomi deskriptif dan normatif.⁸² Di tataran deskriptif, prinsip itu menerima premis bahwa alam (seolah-olah) patuh pada hukum (*lawlike*). Prinsip itu berisi deskripsi bagaimana sains menyusun urutan hukum-hukum ilmiah untuk mendapatkan hasil yang

81 Teori biologis pengetahuan Mach terutama dapat dibaca dalam "On Transformation and Adaptation in Scientific Thought," in *Popular Scientific Lectures*, pp. 214-235. Bdk. Mach, *Principle of the Conservation of Energy*, trans. Philip Jourdain (London: Kegan Paul, 1911 [1872]), p. 55.

82 Lihat Banks, *Philosophical Roots*, p. 24. Bdk. Mach, "On the Economical Nature of Physical Inquiry," in *Popular Scientific Lectures*, pp.186-213; Bdk. Mach, *Principle of the Conservation of Energy*, pp. 55.

maksimal, misalnya menaruh pernyataan yang lebih spesifik di bawah pernyataan yang lebih umum (hukum benda jatuh Galileo di bawah teori gravitasi Newton, dsb). Karena Mach tidak membedakan teori fundamental dengan hukum-hukum fenomenologis, penentuan mana hukum yang lebih mendasar daripada yang lain ia katakan bergantung pada tradisi dan sejarah, atau kebutuhan peneliti. Di tataran normatif, prinsip ekonomi berurusan dengan peran ekonomi mental dalam membingkai hukum-hukum dasar, menerangkan lahirnya konsep-konsep umum dan hukum berdasarkan kerja ingatan. Tahap deskriptif menjelaskan proses yang berlangsung pada tahap normatif, untuk memaksimalkan atau menghemat tampilan-tampilan tertentu yang muncul di atas pola yang ada, atau di atas penataan deduktif tertentu.⁸³ Di sini ekonomi mental berperan sebagai kaidah regulatif karena sains, secara prinsip, tidak mungkin berjalan tanpa metode.⁸⁴

Salah satu kritik yang paling keras berasal dari Husserl. Husserl menilai prinsip ekonomi pikiran (bersama prinsip aksi terkecil Avenarius) sekadar pernyataan teleologis yang tidak dapat menjadi landasan rasional sains. Di mata Husserl, Mach merencanakan hukum-hukum logika karena menyamakan dorongan ideal untuk mencapai rasionalitas maksimum dalam kegiatan ilmiah dengan dorongan biologis untuk adaptasi, tetapi mendaku sudah dapat menjelaskan tujuan dan nilai sains, serta kaidah-kaidah rasionalnya. Padahal, kaidah-kaidah itu sudah diandaikan lebih dulu dalam setiap prinsip ekonomi pikiran, sehingga tidak mungkin merupakan hasil dari prinsip itu. Dari sudut pandang Husserl, logika mendahului semua ekonomi pikiran. Sebelum menerapkan ekonomi pikiran, orang sudah lebih dulu mengerti ideal yang dikejar sains.⁸⁵ Ekonomi pikiran perlu dilengkapi dengan konsep-konsep formal-logis, dan konsep-konsep seperti itu bukan hasil perampatan empiris.

83 Banks, *Philosophical Roots*, p. 31.

84 Bdk. Mach, *Science of Mechanics*, pp. 489-490.

85 Lihat Edmund Husserl, *Logical Investigations*, Vol. I (London: Routledge, 1982 [1900/1901], Ch. 9, pp. 123-133.

Mach menjawab dengan rendah hati bahwa pendekatannya memang berbeda dari Husserl. Ia berangkat dari sejarah sains, sedangkan Husserl dari prosedur logis dengan mengandaikan ada suatu ideal bagi sains—tanpa ideal itu sains menjadi tidak mungkin. Jawaban Mach tidak dapat dilepaskan dari pandangannya bahwa sains berangkat dari praktek purba manusia untuk beradaptasi, dan beradaptasi lebih efektif daripada saingan-saingannya di dalam perjuangan untuk bertahan hidup. Kaidah-kaidah yang kebenarannya sekarang dianggap niscaya (*a priori*), pada masa lalu diperoleh sebagai buah-buah pengalaman (*a posteriori*). Mach juga menjelaskan bahwa dalam pendekatan yang ia pergunakan, analisis logis hanyalah salah satu kasus ideal terbatas saja. Ia lalu menulis, “seandainya analisis logis bagi semua sains sudah selesai, penyelidikan biologis-psikologis bagi saya tetap perlu ... termasuk membuat analisis logis baru atas penyelidikan itu.”⁸⁶

Selanjutnya, bagaimanakah prinsip ekonomi mengarahkan pembentukan sains terpadu? Pertama-tama perlu dicatat bahwa Mach mengakui perbedaan pendekatan dalam setiap bidang ilmu. Misalnya kita melihat seekor ikan di dalam air. Fisika mengenal prinsip Archimedes untuk gejala benda tenggelam, terapung dan melayang di dalam air. Prinsip itu juga berlaku bagi makhluk hidup, sehingga kita mengerti mengapa ikan tidak tenggelam dan bisa mengatur kedalamannya di dalam air. Namun, gejala makhluk hidup memerlukan penjelasan dari bidang-bidang ilmu lain, seperti kimia dan biologi serta sosiologi, psikologi, antropologi, dlsb. Biologi membantu kita mengenali organ ikan yang cara kerjanya dapat dijelaskan menurut prinsip Archimedes. Bidang-bidang ilmu lain membantu kita mempelajari, misalnya, bagaimana manusia memanfaatkan prinsip itu untuk membangun kapal-kapal perang.

Kendati setiap ilmu menerapkan pendekatan yang berlainan, Mach yakin ada langkah untuk menyetarakan konsep-konsep yang dipergunakan dalam bidang ilmu yang berbeda. Fokus Mach adalah fisika,

⁸⁶ Mach, *The Science of Mechanics*, p. 582. Dalam *Science and Error*, Mach mengulas lagi persoalan ini (Mach, *Science and Error*, pp. 225-237).

psikologi dan fisiologi. Untuk itu, ia memanfaatkan konsepnya tentang elemen yang merupakan komponen pengalaman paling dasar, sederhana, tercerap, dan teruji secara publik. Fisikawan mempelajari relasi-relasi fungsional yang khas dalam fisika, tetapi relasi itu merujuk ke entitas netral yang sama dengan yang dipelajari dalam psikologi dan fisiologi. Dengan kata lain, setiap bidang ilmu berbeda hanya dalam arah penyelidikannya tetapi bukan dalam subjek kajiannya. Mach menjelaskannya demikian:

Warna adalah objek fisis setelah kita mempertimbangkan ketergantungannya, misalnya, pada sumber cahaya, pada warna-warna lainnya, suhu, ruang, dan seterusnya. Ketika kita mempertimbangkan ketergantungannya pada retina (elemen-elemen *K L M ...*) adalah objek psikologis, sebuah pencerapan. Bukan subjeknya yang berbeda dalam dua wilayah itu (yang psikis dan psikologis: penulis), melainkan arah penyelidikan kita.⁸⁷

Gagasan sains terpadu Mach sangat terbatas. Ia sekadar menunjukkan bagaimana pernyataan ilmiah mestinya dirumuskan dan bagaimana metode ilmiah mesti dijalankan agar program lintas disiplin dapat terwujud. Tentu saja, di sini ada andaian epistemik Mach bahwa pengetahuan sejati terbangun dari kalimat-kalimat yang merujuk ke elemen-elemen.

Cita-cita inilah yang kerap disalahpahami termasuk oleh beberapa penerusnya di Lingkaran Wina. Dalam perkembangannya di LW, Cohen menyebut tiga teori tentang sains terpadu:⁸⁸

Pertama, reduksionisme: ada satu ilmu dasar yang dapat memaparkan (atau menjelaskan), sedikitnya secara prinsip, berbagai macam gejala, dan berbagai bidang ilmu pada gilirannya dapat direduksi ke aspek fundamental ilmu dasar tersebut, misalnya elemen-elemen dalam pengertian Mach.

Kedua, kesatuan Metode: ada kesatuan metodologis di antara ilmu-ilmu, khususnya menyangkut kesamaan prosedur peragaan, komunikasi,

⁸⁷ Mach, *Analysis of Sensations*, pp. 17-18.

⁸⁸ Lihat Cohen, "Physics, Perceptions," p. 152.

peneguhan, pengukuran, prosedur pengemukaan kendati tidak mungkin ada reduksi konseptual; ini diwakili misalnya oleh sensasionalisme Mach.

Ketiga, meta-sains: ada sebuah deskripsi ilmiah yang memadukan keragaman bidang ilmu sementara tetap mempertahankan perbedaan masing-masing; misalnya teori evolusi pengetahuan Mach yang menyatakan bahwa berbagai bidang ilmu adalah bentuk-bentuk adaptasi terhadap lingkungan yang berbeda.

Tidak semua butir teori itu ada dalam gagasan Mach tentang sains terpadu. Mach tidak bermaksud menciutkan bidang-bidang ilmu lain suatu bidang ilmu tertentu, dan tidak menyangkal keunikan serta independensi tiap-tiap bidang ilmu. Ia sekadar mengusulkan kriteria empiris terpadu dalam menolak dan meneguhkan pernyataan-pernyataan ilmiah. Ringkasnya, sains terpadu pada tataran persepsi. Mach yakin bahwa semua sains pada akhirnya membentuk suatu keseluruhan yang komprehensif.⁸⁹

Mach mau menunjukkan bahwa pengetahuan tentang proses dan gejala yang rumit dapat diterjemahkan ke pengetahuan tentang data-data dasar. Sains terpadu adalah sistem penataan pengalaman secara koheren sebagai wujud dari prinsip ekonomi mental. Sistem ini akan tercapai jika kalimat-kalimat ilmiah dibatasi pada kalimat yang mengandung hanya pencerapan (elemen-elemen) sebagai predikatnya. Elemen-elemen menyediakan orientasi yang relatif stabil bagi sains. Karena itu, metafisika tidak cocok bagi sains dan bahkan mengganggu ekonomi sains.⁹⁰ Sains tidak berurusan dengan hal-hal yang tidak terbuka secara empiris terhadap kemungkinan peneguhan (konfirmasi) dan penolakan (refutasi) seperti ini, tidak menjadi bagian dari sains.⁹¹

89 Untuk hubungan antara ekonomi sains, sains terpadu dan penghapusan metafisika, lihat Philipp Frank "Ernst Mach: The Centenary of His Birth," *Erkenntnis*, No. 7. Bd. (1937/1938), pp. 251, 254.

90 Mach, *Analysis of Sensations*, p. xxxviii. Bdk. Philipp Frank, "Ernst Mach: The Centenary," pp. 251-252.

91 Di sini Mach mendahului Popper, meski ia tidak mengelaborasi pemikirannya lebih jauh sehingga menghasilkan konsep falsifikasi. Lihat Mach, *Science of Mechanics*, p. 490.

Meski demikian, Mach menolak pengurangan pengalaman mental ke ungkapan-ungkapan fisika seperti gerak dan massa. Kendati setiap pengalaman fisis dapat dibentuk dari elemen-elemen mental (pencerapan), upaya untuk mengemukakan situasi sebaliknya justru sangat sulit.⁹² Model sains terpadu Mach bukan fisikalisme reduksionistik Carnap yang menetapkan bahasa dasar fisikalistik sebagai bahasa universal, objektif, intersubjektif bagi sains terpadu. Sains terpadu Carnap adalah model hierarkis dengan fisika terletak di dasar piramida dan semua konsep dalam ilmu-ilmu lain terhubung ke teori-teori di dasar piramida. Motif Carnap adalah menyempatkan jurang antara ilmu-ilmu alam dan ilmu-ilmu sosial tetapi malah berakhir dengan reduksionisme.⁹³ Sains terpadu yang dicita-citakan Mach, sedikit banyak, lebih mirip dengan model ensiklopedis sains terpadu Otto Neurath tetapi tanpa bahasa fisikalisme non-reduksionistik Neurath. Mach tidak menganjurkan fisikalisme sama sekali karena ia menyejajarkan elemen fisis dan psikis.

DISKUSI

Ada banyak kritik terhadap cara pandang Mach tentang sains. Penulis hanya akan membahas dua saja. Pertama, pendapatnya bahwa sains hanya memaparkan fakta. Apakah ini berarti bahwa sains tidak memberikan penjelasan? Tidakkah berbagai kepustakaan tentang sains justru menggolongkan penjelasan (eksplanasi) sebagai tujuan utama sains? Mach memang menyebut tentang penjelasan, tetapi menegaskan bahwa penjelasan tidak lain adalah “pemaparan yang dipadatkan.” Ilmuwan menjelaskan dengan cara menganalisis dan “menyelesaikan fakta-fakta rumit ke sesedikit dan sesederhana mungkin fakta. Inilah yang kita sebut menjelaskan.”⁹⁴ Dengan demikian, ia meniadakan perbedaan antara pemaparan dan penjelasan. Pokok yang dikejar dalam

92 Mach, *Knowledge and Error: Sketches on the Psychological Enquiry*. Vienna Circle Collection Vol. III, trans. B. F. McGuinness (Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1976 [1905], p. 12.

93 Rudolf Carnap, *The Logical Syntax of Language* (London: Routledge, 2000 [1937]), p. 320.

94 Mach, *Principles of Conservation*, pp. 55-56.

sains model Mach tampaknya bukan “kedalaman” penjelasan, melainkan perluasan lateral pemaparan untuk meliputi sebanyak mungkin fakta.

Dalam epistemologi instrumentalistik, sains memang tidak menjawab pertanyaan mengapa. Sebagai sarana, sains hanya menjawab pertanyaan apa (masalahnya) dan bagaimana (menyelesaikan masalah dan memprediksi gejala berikut). Sementara dalam kegiatan ilmiah kongkret, sains lebih daripada sekadar memberikan deskripsi. Kebanyakan ilmuwan memahami teori sebagai kerangka konseptual yang dibangun melampaui deskripsi gejala dan relasi-relasinya.

Teori memberikan pemahaman (parsial) dengan membangun hipotesis tentang entitas dan proses yang memicu gejala. Entitas-entitas dan proses itulah yang mau ditangkap melalui berbagai instrumen, tetapi instrumen tidak selalu bisa menangkap habis-habisan. Selebihnya adalah konstruksi yang kemudian akan diuji lagi. Dengan kata lain, sains adalah kegiatan empiris sekaligus konstruktif, imajinatif, spekulatif. Teori tidak hanya menggunakan konsep yang diperoleh dari observasi/eksperimen, tetapi mengajukan konsep baru secara deduktif. Dalam kasus teori Newton, misalnya, ada konsep massa yang tidak muncul dalam hukum Galileo. Tentu saja, penentu akhir adalah bukti eksperimen.

Dari sudut pandang Mach, sains berfungsi untuk menggantikan pengalaman sekaligus mengantisipasi pengalaman. Cara pandang ini menghasilkan deskriptivisme yang secara ketat menuntut semua rincian hipotesis di dalam sebuah teori dapat secara ostentif dihubungkan ke semua rincian gejala. Selain itu, semua kaidah bagi objek-objek hipotetis juga harus bisa dialihkan langsung ke gejala. Tuntutan yang sangat ketat ini, sejauh-jauhnya, hanya dapat diberlakukan bagi fisika fenomenologi.⁹⁵ Artinya, epistemologi Mach menghasilkan pengertian tentang sains yang parsial. Padahal, ketika ia mengatakan, “sains adalah tindakan...dalam kawasan pengalaman yang *tidak lengkap*,”⁹⁶ sebetulnya terbuka peluang

95 Mach, *Principles of Conservation*, pp. 55-56.

96 Mach, *Principles of Conservation*, p. 490.

untuk menafsirkan “yang tidak lengkap itu” itu secara luas. Ia membatasi penafsirannya pada antisipasi akan gejala, tetapi lagi-lagi membatasinya pada pencerapan. Sementara Einstein dan banyak fisikawan lain memilih langkah konstruktif dan bahkan spekulatif untuk menggarap “yang tidak lengkap” itu. Mereka menghasilkan model-model fisika yang sangat imajinatif sekaligus dapat diuji secara empiris.

Pokok ini membawa kita ke aspek lain yang juga terkubur dalam epistemologi Mach, yaitu dimensi ontologis/metafisis sains. Inilah kawasan real yang mau dijelaskan oleh teori. Dalam fisika, kita dapat menyimak pernyataan Einstein, “Fisika adalah upaya pada tataran konseptual untuk membangun *dunia nyata* dan struktur keteraturannya. Pastinya, fisika mewakili keterbukaan kita terhadap relasi empiris ... hanya dalam *cara ini* pengalaman terhubung ke sana.” Dalam proses itu, ia mengakui seperti terbelah di antara “realitas pengalaman” dan “realitas ada.”⁹⁷

Dalam sains, “realitas ada” itu tidak dapat diabaikan. Antara lain, karena alasan ini Einstein meninggalkan positivisme Mach. Saat mengembangkan teori relativitas khusus (1905), di bawah pengaruh positivisme—kritis Mach, Einstein berpikir ia dapat mengeliminasi ontologi dari fisika. Namun dalam proses merumuskan teori relativitas umum (1916), ia menyimpulkan bahwa Mach bukanlah guru yang baik bagi fisika yang mau ia kembangkan. Einstein yakin sains punya tujuan konstruktif-spekulatif dan intuitif, ketimbang semata-mata deskriptif. Dalam kegiatan ilmiah, dunia real yang disebut Einstein mengalami stratifikasi. Ada lapisan realitas yang sudah ada jauh sebelum manusia ada. Lapisan ini belum tentu terjangkau instrumen. Lapisan tempat kegiatan ilmiah berlangsung adalah lapis pengetahuan (lapis epistemik) tentang realitas itu. Lapisan real membentuk landasan adanya sains—*raison d'être*—juga seandainya hanya berupa asumsi tersembunyi. Dalam

97 Dikutip dalam Gerald Holton, “Mach, Einstein and The Search for Reality,” in Cohen and Seeger, eds., *Ernst Mach Physicist and Philosopher*, pp. 188, 191.

kedua lapisan itu dibedakan lagi hal-hal yang real, peristiwa aktual, dan gejala empiris.

Mach tampaknya terlalu mengekonomisasikan sains sehingga membuat sains menjauh dari ideal epistemiknya sebagai upaya mendekati kebenaran. Sains bernilai sejauh memberi kegunaan (sebagai sarana), memaparkan fakta dengan tepat (adaptasi pikiran ke fakta) dan koheren (adaptasi pikiran ke pikiran). Sementara Husserl berpendapat bahwa epistemologi Mach menciut menjadi psikologisme, Cohen menyebutnya sebagai epistemologi yang bermetamorfosis ke biologi.⁹⁸ Sedangkan Einstein lain lagi. Ia menulis kepada sahabatnya Besso (1917), “Anda tahu apa yang saya pikirkan tentang itu (positivisme Mach: penulis). Itu tidak melahirkan sesuatu yang hidup, cuma membinasakan kutu-kutu yang mengganggu.”⁹⁹

Hampir seabad sudah lewat sejak Einstein menulis surat itu. Sarana untuk membunuh kutu-kutu itu masih bertahan dan berkembang menjadi salah satu cabang fisika yang paling populer, karena kegunaannya dalam dunia industri. Contohnya adalah pengembangan superkonduktor, yakni bahan yang dapat menghantar listrik secara efisien pada suhu rendah. Kelemahan epistemik sistem Mach ternyata tidak mengurangi kapasitas metodologisnya. Kiranya, itulah salah satu cita-cita Mach yang dengan gigih ia perjuangkan. Sementara cita-citanya yang lain tampaknya menuntut lebih dari pada yang dapat diberikan oleh paham instrumentalisme. Cita-cita itu mengendap kental dalam kalimat penutup bukunya *Erkenntnis und Irrtum* (1905):

Kalau kita merefleksikan kesengsaraan yang mesti ditanggung leluhur kita di bawah brutalitas institusi-institusi sosial mereka, sistem hukum dan peradilan, takhayul dan fanatisme, kalau kita mempertimbangkan kekayaan warisan masa kini dalam hal-hal tersebut, kalau kita membayangkan apa yang kita miliki ini kelak di antara anak cucu kita,

⁹⁸ Lihat Cohen, “Physics, Perceptions,” pp. 141-142.

⁹⁹ Dikutip dalam Gerald Holton, “Mach, Einstein and The Search for Reality,” p. 184.

kita menemukan dorongan yang cukup untuk bekerjasama dengan tekun dan bersungguh-sungguh, dengan bantuan tilikan psikologis dan sosiologis, untuk mewujudkan tata moral dunia yang ideal.¹⁰⁰

Mach percaya, hanya kesetiaan kepada pengalaman kongkret yang sanggup membawa manusia meraih temuan dan tilikan baru untuk membawanya ke kehidupan yang semakin manusiawi. Ia juga yakin bahwa sains adalah sarana yang efektif dalam proses menyaring pengalaman konkret tersebut. Karena memandang sains sebagai sarana itulah, Mach menyokong ide netralitas ilmu. Ia memperjuangkannya dalam kurikulum pendidikan, dengan harapan ilmuwan masa depan tidak terjebak dalam kepentingan *Realpolitik*. Ironisnya, yang terjadi justru sebaliknya. Sarana netral Mach melahirkan bom atom dan senjata-senjata pemusnah massal yang sanggup menyapu berjenis-jenis kehidupan di Bumi dalam sekejap. Masa depan manusiawi yang ia diidam-idamkan, jelas membutuhkan lebih daripada melulu alat kognitif untuk *survive* di atas medan pertarungan evolusi kehidupan.

DAFTAR RUJUKAN

- Banks, Erik C. *Ernst Mach's World Element: A Study in Natural Philosophy*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2003.
- _____. "The Philosophical Roots of Ernst Mach's Economy of Thought." *Synthese* 139/1 (March, 2004): 23-53.
- Bhaskar, Roy. *A Realist Theory of Science*. London: Verso, 1975.
- Blackmore, John. *Ernst Mach, His Work, Life and Influence*. Berkeley: University of California Press, 1972.
- _____. "An Historical Note on Ernst Mach." *The British Journal for the Philosophy of Science* 36/3 (September, 1985): 299-305.
- _____. "Ernst Mach Leaves The Church of Physics." *The British Journal for the Philosophy of Science* 40/4 (December, 1989): 519-540.
- Bode, B. H. "Ernst Mach and the New Empiricism." *The Journal of Philosophy, Psychology and Scientific Methods* 13/11 (May 25, 1916): 281-290.

100 Dikutip dari Ernst Mach, *Knowledge and Error*, p. 361.

- Boltzmann, Ludwig. "On The Necessity of Atomic Theories in Physics." Translated by T. J. McCormack. *The Monist* 12/1 (October, 1901): 65-79.
- Brown, Bryson. "A Journey into Gravity and Spacetime. A Review of "A Journey into Gravity and Spacetime," by John A. Wheeler. *SIAM Review* 35/2 (June, 1993): 314-315.
- Èapek, Miliè. "Ernst Mach's Biological Theory of Knowledge." *Synthese* 18/2 & 3, A Symposium on Ernst Mach (April, 1968): 171-191.
- Carnap, Rudolf. *The Logical Syntax of Language*. London: Routledge, 2000 [1937].
- Carnap, Rudolf. "Foundations of Logic and Mathematics." In Otto Neurath, Rudolf Carnap and Phillip Morris (eds.), *International Encyclopedia of Unified Science*, Vol. I. Chicago: University of Chicago Press, 1939, pp. 139-214.
- Cassirer, Ernst. *The Theory of Knowledge, Philosophy Science, & History since Hegel*. Translated by William H. Woglom and Charles W. Hendel. New Haven: Yale University Press, 1950.
- Cohen, Robert S., and Raymond J. Seeger, eds. *Ernst Mach Physicist and Philosopher*. Holland: Dordrecht, 1979.
- Comte, August. *Positive Philosophy of Auguste Comte* Vol. I. Translated by Harriet Martineau. London: George Bell & Sons, 1896.
- Feyerabend, Paul. "Zahar on Mach, Einstein and Modern Science." *The British Journal for the Philosophy of Science* 31/3 (1980): 273-282.
- Frank, Philipp. "Ernst Mach: The Centenary of His Birth." *Erkenntnis* No. 7. Bd. (1937/1938): 247-256.
- Fuller, Steve. "Retrieving the Point of the Realism-Instrumentalism Debate: Mach Vs. Planck on Science Education Policy." *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* (1994): 200-208.
- Heilborn, J. L. *The Dilemmas of An Upright Man: Max Planck and the Fortunes of German Science*. Berkeley: University of California Press, 1986.
- Husserl, Edmund. *Psychological and Transcendental Phenomenology and Confrontation with Heidegger* (1927-1931). Translated and edited by Thomas Sheehan and Richard E. Palmer. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- Jammer, Max. *Concept of Mass in Contemporary Physics and Philosophy*. Cambridge, Massachusetts: Harvard, 1961.

- Kant, I. *Critique of Pure Reason*. Translated by N. K. Smith. London: MacMillan, 1953 [1781].
- Koslow, A. "Mach's Concept of Mass: Program and Definition." *Synthese* 18/2 & 3 (April, 1968): 216-233.
- Laudan, Larry. "Towards a Reassessment of Comte's 'Méthode Positive'." *Philosophy of Science* 38/1 (March, 1971): 35-53.
- Mach, Ernst. *The Analysis of Sensations*. Translated by C. M. Williams, revised by Sydney Waterlow. New York: Dover, 1959 [1886].
- _____. "Facts and Mental Symbols." In *Contributions to the Analysis of the Sensations*. Translated by A. M. Williams. Chicago: The Open Court Publishing Company, 1807, pp. 185-196.
- _____. *History and Root of the Principle of the Conservation of Energy*. Translated by Philip Jourdain. London: Kegan Paul, 1911 [1872]).
- _____. *Knowledge and Error: Skteches on the Psychological Enquiry*. Vienna Circle Collection Vol. III. Translated by B. F. McGuinness. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1976 [1905]).
- _____. *Popular Scientific Lectures*. Translated by Thomas J. McCormack. Chicago: The Open Court Publishing Company, 1898 [1894].
- _____. *The Principles of the Theory of Heat: Historically and Critically Elucidated*. Vienna Circle Collection. Translated by B. F. McGuinness. New York: Springer-Verlag, 1986 [1919].
- _____. *The Science of Mechanics*. Translated by Thomas J. McCormack. Merchant Books: 2007 [1883/1902].
- Matthews, Michael R. "Ernst Mach and Contemporary Science Education Reforms." *International Journal of Science Education* 12/3 (1990): 317-325.
- Misner, Charles W., Kip S. Thorne, and John A. Wheeler. *Gravitation*. San Francisco: Freeman & Company, 1973.
- NN. "Problems of Philosophy. Problem #10: Husserl as a Successor of Mach." *Synthese* 115/2 (May, 1998): 267.
- Pickering, Mary. *August Comte, An Intellectual Biography* Vol. I. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- Planck, Max. *A Survey of Physical Theory*. Translated by R. Jones and D. H. Williams. New York: Dover Publications, Inc., 1960 [1909].
- Popper, Karl. *Conjectures and Refutations*. London: Routledge, 1963.

- _____. "A Note on Berkeley as Precursor of Mach." *The British Journal for the Philosophy of Science* 4 (May, 1953): 26-36.
- Schilpp, Paul Arthur. *Albert Einstein, Philosopher-Scientist*. The Library of Living Philosophers, Vol. VIII. New York: MJF Books, 1970 [1949].
- Schraff, Robert. *Comte after Positivism*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- Siemsen, Hayo. "Ernst Mach, George Sarton and the Empiry of Teaching Science Part I." *Science & Education* 21/4 (2012): 447-484.
- Stöltzner, Michael. "Vienna Indeterminism II: From Exner's Synthesis to Frank and von Mises." (2002; preprint). <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/624>.
- _____. "Vienna Indeterminism: Mach, Boltzmann, Exner, *Synthese* 119/ 1 & 2, Ludwig Boltzmann "Troubled Genius as Philosopher" (1999): 85-111.
- Uebel, Thomas E. "The Enlightenment Ambition of Epistemic Utopianism." In Ronald Giere and Alan Richardson, eds., *The Origin of Logical Empiricism, Minnesota Studies in the Philosophy of Science* Vol. XVI. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1996, pp. 91-112.
- _____. *Rediscovering the Forgotten Vienna Circle*. Boston Studies in the Philosophy of Science, Vol. 13. Dordrecht: KluwerAcademic Publishers, 1991.