

Filsafat Sains: Inferensi dan Eksplanasi Ilmiah pada Awal Perkembangan Spektroskopi Serapan Atom

Ari Syahidul Shidiq
Program Pendidikan IPA, Sekolah Pascasarjana
Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia
Email: arishidiq@upi.edu

Abstrak

Kecanggihan teknik analitik di bidang kimia saat ini tidak lepas dari hasil pemikiran para ahli di masa lalu. Setiap teori, hukum, dan konsep yang mendasari perkembangan sains mencakup pengembangan spektroskopi serapan atom melalui tahap inferensi dan penjelasan ilmiah untuk mengungkap dan menjelaskan fenomena yang ada. Artikel ini bertujuan untuk menggambarkan kesimpulan dan penjelasan yang digunakan oleh para ahli dalam pengembangan awal spektroskopi serapan atom. Studi literatur digunakan dalam menulis artikel ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap tahap pengembangan spektroskopi serapan atom, terutama pada awal perkembangannya, menggunakan inferensi ilmiah dan metode penjelasan untuk menjelaskan fenomena yang mereka temukan.

Kata Kunci : Filsafat Sains, Inferensi dan Eksplanasi Ilmiah, Spektroskopi Serapan Atom

Abstract

The sophistication of analytical techniques in the field of chemistry at this time can not be separated from the results of the thoughts of experts in the past. Every theory, law, and concept underlying the development of science includes the development of atomic absorption spectroscopy through scientific inference and explanation stages to uncover and explain existing phenomena. This article aims to describe the inferences and explanations used by experts in the early development of atomic absorption spectroscopy. Literature studies are used in writing this article. The results show that each stage of the development of atomic absorption spectroscopy, especially at the beginning of its development, uses scientific inference and explanation methods to explain a phenomenon they find.

Keywords: Philosophy of science, Scientific inference and explanation, Atomic Absorption Spectroscopy

1. Pendahuluan

Realisme ilmiah dimotivasi oleh keinginan untuk membuat klaim tentang aspirasi ontologis sains dan pencapaian epistemiknya. Di sisi ontologis, realis berpendapat bahwa setidaknya beberapa teori ilmiah mencoba untuk memberikan gambaran tentang konstituen materi, entitas dan kekuatan yang menghasilkan suatu fenomena proses alami. Ilmu pengetahuan bukan hanya upaya sistematis untuk "menyelamatkan fenomena". Namun juga suatu upaya filosofis yang dapat menggambarkan struktur dan kekuatan di dunia dan menangkap hukum yang mengatur alam (Day & Botterill, 2008).

Manusia memiliki rasa ingin tahu tentang mengapa dan bagaimana suatu fenomena alam dapat terjadi. Rasa ingin tahu tersebut yang mendorong manusia untuk mencari penjelasan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut. Eksplanasi adalah jawaban-jawaban yang diberikan untuk menjelaskan suatu fenomena. Eksplanasi menerangkan mengapa suatu fenomena terjadi. Eksplanasi menunjukkan rangkaian sebab-akibat yang berakhir pada fenomena yang hendak diterangkan (Firman, 2019a).

Proses eksplanasi membutuhkan inferensi ilmiah. Inferensi ilmiah adalah suatu proses pemerolehan kesimpulan yang logis berdasarkan satu atau lebih proposisi yang relevan. Proposisi di sini adalah pernyataan-pernyataan yang terbukti kebenarannya, sedangkan

proposisi yang digunakan untuk penarikan suatu kesimpulan disebut premis. Terdapat tiga kategori dasar inferensi, yakni deduksi, induksi, dan abduksi (Firman, 2019b).

Fenomena sains selalu menuntut eksplanasi ilmiah berdasarkan ilmu pengetahuan yang ada. Menurut Immanuel Kant pengetahuan berguna bagi perilaku seseorang dalam kehidupan atau lebih dikenal dengan istilah "relevansi praktis". Pengetahuan memiliki ruang lingkup yang sangat luas: pengetahuan mengungkapkan sumber semua ilmu, ilmu moralitas, keterampilan, hubungan manusia, cara untuk mendidik dan mengatur manusia. Keunikan pendekatan ilmu-ilmu manusia terletak pada komitmen mereka untuk menyelidiki suatu fenomena untuk tujuan praktis (Cohen, 2018).

Salah satu penemuan sains dalam bidang kimia yang merupakan hasil dari inferensi ilmiah adalah Spektroskopi Serapan Stom (SSA). Instrumen SSA ini muncul sebagai kristalisasi inferensi dan eksplanasi ilmiah para ahli dibidang sains, juga sebagai instrumen yang dapat membantu eksplanasi ilmiah terhadap fenomena sains lainnya. Spektrometri merupakan suatu metode analisis kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan banyaknya radiasi yang dihasilkan atau yang diserap oleh spesi atom atau molekul analit. Salah satu bagian dari spektrometri ialah Spektrometri Serapan Atom (SSA), merupakan metode analisis unsur secara kuantitatif yang pengukurannya berdasarkan penyerapan cahaya dengan panjang gelombang tertentu oleh atom logam dalam keadaan bebas.

Artikel ini, bertujuan untuk memaparkan proses inferensi dan eksplanasi ilmiah dari para ahli yang mendasari pengembangan SSA.

2. Metode

Studi kepustakaan digunakan dalam penulisan artikel ini. Penelaahan terhadap buku, jurnal, makalah dan tulisan lain dilakukan untuk memperkaya penelaahan tentang inferensi dan eksplanasi ilmiah pada pengembangan Spektroskopi Serapan Atom. Selain itu, hasil-hasil penelitian empiris digunakan sebagai data sekunder untuk memperkuat argumentasi yang kemudian disintesis menjadi satu kesatuan dalam memberikan informasi yang bermakna.

3. Hasil dan Pembahasan

Inferensi Ilmiah

Inferensi ilmiah merupakan proses penalaran yang penting dalam pemerolehan pengetahuan. Proses inferensi ilmiah bisa melalui inferensi deduktif, inferensi induktif, serta inferensi abduktif. Inferensi Deduktif adalah inferensi yang dari premis umum, yaitu prinsip yang sudah diketahui sebelumnya, menuju kesimpulan spesifik yang pasti. Deduksi diasosiasikan dengan silogisme (logika formal). Penarikan kesimpulan pada inferensi deduksi didasarkan pada kaitan premis-premis pendukungnya dengan menggunakan silogisme. Deduksi bergerak dari umum ke khusus (spesifik), melibatkan penalaran dari premis-premis yang telah dipandang sebagai kebenaran, menuju kesimpulan yang pasti. Oleh karenanya, kesimpulan dari deduksi bersifat pasti, tidak melibatkan peluang dan ketidakpastian, sehingga tak terbantahkan. Namun demikian, deduksi bukan tanpa masalah, kebenaran kesimpulan bergantung pada kebenaran premis-premisnya. Jika salah satu dari premis salah, maka kesimpulan akan menjadi salah. Pada inferensi ilmiah berlandaskan pada suatu generalisasi, dalam banyak kasus generalisasi yang dirujuk sebagai premis mayor adalah hasil induksi, yang mengandung ketidakpastian. Demikian pula jika premis mayor yang menjadi landasan inferensi adalah teori (yang bersifat tentatif), maka kesimpulan menjadi tidak pasti (Firman, 2019b).

Inferensi biasanya dipandang valid berdasarkan bentuknya. Kesimpulan induktif dinilai dalam hal apakah mereka sesuai dengan beberapa skema argumen. John D. Norton (2003) berpendapat untuk teori material induksi, yang menurutnya induksi ilmiah didasarkan pada hal-hal fakta yang hanya berlaku di domain tertentu (Brigandt, 2010). Induksi merupakan inferensi dari kasus-kasus spesifik menuju kesimpulan umum (generalisasi). Kesimpulan tidak mesti mengikuti premis-premis sebagaimana dalam inferensi deduktif. Proses inferensi induktif dikenal sebagai "*logika informal*" atau "argumen sehari-hari" (Firman, 2019b).

Kesimpulan ilmiah memiliki tingkat probabilitas yang sangat bervariasi, mulai dari hampir pasti hingga hipotesis liar. Bukti dari sebuah kesimpulan induktif adalah suatu kemustahilan, karena tidak hanya harus ditunjukkan bahwa kesimpulan tersebut sesuai dengan semua fakta dari masa lalu, sekarang, dan masa depan, tetapi juga bahwa itu adalah satu-satunya kesimpulan yang mungkin dapat dibingkai agar sesuai dengan fakta. Ini adalah ketidakmungkinan; tetapi perkiraan untuk itu mungkin sangat dekat. Kebanyakan orang

menganggap sirkulasi darah sebagai fakta, namun itu tidak pernah diamati atau benar-benar ditunjukkan. Ini adalah kesimpulan dari fakta yang diamati, tetapi kesimpulan yang sangat kuat sehingga sama sekali tidak mungkin untuk meragukan kebenarannya. Para ilmuwan tidak akan berpura-pura bahwa pernyataan seperti itu dapat dibuat, karena, betapapun kuatnya mereka percaya pada kepastian kesimpulan mereka, mereka sepenuhnya menyadari kemungkinan kesimpulan yang salah dan teori yang keliru (Conn, 1887).

Abduksi adalah metode pembentukan prediksi umum tanpa jaminan yang pasti bahwa itu akan berhasil baik dalam kasus khusus atau biasa, pembenarannya adalah bahwa itu satu-satunya harapan yang mungkin untuk mengatur perilaku masa depan kita secara rasional, dan bahwa induksi dari pengalaman masa lalu memberikan dorongan kuat untuk berharap bahwa itu akan berhasil di masa depan. Jadi, sementara seperti induksi, abduksi tidak pasti, hanya induksi yang dapat memberi "dorongan kuat" dari waktu ke waktu (Firman, 2019b). Inferensi abduktif dapat dipandang sebagai analisis ilmiah yang melibatkan "inferensi untuk penjelasan terbaik" (*inference to the best explanation*, disingkat IBE), suatu bentuk dugaan berlandaskan apa yang paling masuk akal (Ladyman, 2002).

Eksplanasi Ilmiah

Ekplanasi melibatkan dua unsur utama, yaitu "eksplanan" dan "eksplanandum". Eksplanan ialah perkara yang menjelaskan, sedangkan eksplanandum adalah perkara yang dijelaskan (Ladyman, 2002). Semua eksplanasi melibatkan eksplanan dan eksplanandum, namun yang membedakan tipe eksplanasi satu dengan yang lain ialah pola hubungan antara keduanya.

Literatur filosofis tentang Eksplanasi terbagi menjadi dua kelompok. Beberapa filsuf, seperti Hempel dan Nagel, memiliki pandangan yang relatif tepat mengenai sifat hubungan eksplanasi, tetapi tidak banyak menjelaskan tentang hubungan antara pandangan mereka dan pemahaman ilmiah, yang memberi kita pemahaman tentang dunia. Para filsuf lain, seperti Toulmin, Scriven, dan Dray, banyak membahas tentang pemahaman, tetapi ide-ide yang relatif samar tentang hubungan apa yang menghasilkan pemahaman ini (Friedman, 1974).

Eksplanasi filosofis yang paling dikenal adalah model D-N (*Deductive-Nomological*). Model ini dirancang terutama sebagai teori eksplanasi peristiwa tertentu, tetapi pandangan bahwa hubungan eksplanasi pada dasarnya adalah hubungan deduktif. Menurut model D-N, deskripsi dari satu fenomena dapat menjelaskan deskripsi dari fenomena kedua hanya jika deskripsi pertama memerlukan yang kedua. Tentu saja, hubungan deduktif antara dua deskripsi seperti itu tidak cukup untuk menjadi penjelasan yang lain. Menurut para pembela model D-N hal semacam itu berada di luar wilayah filsuf ilmu pengetahuan, karena konsep-konsep seperti 'pemahaman' dan 'kejelasan' bersifat psikologis atau pragmatis (Friedman, 1974; Weber, Van Bouwel, & De Vreese, 2013).

Para *scientist* dan filsuf telah banyak melakukan penelitian dan pemikiran tentang berbagai metode eksplanasi. Salmon, M. H dan Salmon, W. C. (1979) memperkenalkan model eksplanasi baru selain D-N dan I-S (*Inductive-Statistical*) yaitu model S-R (*Statistical-Relevance*) (Salmon & Salmon, 1979). Hitchcock (1992) dan Pearl (2014) menulis tentang eksplanasi dan inferensi kausal (Hitchcock, 1992; Pearl, 2014). Eksplanasi saintifik digunakan para peneliti untuk menjelaskan berbagai fenomena (Grunde, 1980; Hartmann, 2001; Lange, 2012, 2013; Mackinnon, 1978; Osborne & Patterson, 2011; Tennant, 2010). Selain itu telah banyak peneliti yang menjelaskan Eksplanasi dari fenomena di berbagai bidang, seperti fisika dan astronomi (Tennant, 2010) dan pendidikan sains (Braaten & Windschitl, 2011).

Inferensi dan Eksplanasi dalam Awal Perkembangan Spektroskopi Serapan Atom

Spektroskopi Serapan Atom (SSA) adalah kisah sukses yang luar biasa. Kesuksesan ini tidak terjadi begitu saja. Individu dan perusahaan harus menginvestasikan banyak hal agar bisa berhasil (Koirtyohann, 1991). Semua spektroskopi optik bersumber pada tahun 1672 ketika Newton menerbitkan pengamatannya tentang sinar matahari yang disebarkan oleh sebuah prisma. Kata spektrum berasal dari upaya Newton untuk menggambarkan kenampakan cahaya matahari yang tersebar (Koirtyohann, 1980).

Newton menginvestigasi refraksi cahaya, menunjukkan bahwa kaca prisma dapat membagi-bagi cahaya putih menjadi berbagai spektrum warna, serta lensa dan prisma keduanya akan menggabungkan kembali cahaya-cahaya tersebut menjadi cahaya putih. Dia juga menunjukkan bahwa cahaya berwarna tidak mengubah sifat-sifatnya dengan memisahkan berkas berwarna dan menyorotkannya ke berbagai objek. Newton mencatat bahwa tidak peduli apakah berkas cahaya tersebut dipantulkan, dihamburkan atau ditransmisikan, warna berkas

cahaya tidak berubah. Berdasarkan percobaan dan fakta-fakta tersebut dia menyimpulkan bahwa warna adalah interaksi objek dengan cahaya yang sudah berwarna, dan objek tidak menciptakan warna itu sendiri. Ini dikenal sebagai teori warna Newton. Kasus percobaan Newton tersebut menunjukkan inferensi induktif dan eksplanasi model D-N yang berasal dari fenomena yang umum tentang sinar matahari, menuju sesuatu yang khusus tentang refraksi sinar matahari.

Orang pertama yang menggambarkan fitur spektral selain warna sederhana adalah Wollaston pada tahun 1802, Wollaston menggambarkan garis-garis gelap dalam spektrum matahari, menurutnya hal itu terjadi karena penyerapan atom (Koirtyohann, 1980). Namun Wollaston tidak begitu memperhatikan temuannya. Oleh karena itu pada tahun 1817 Fraunhofer mulai melanjutkan penelitian tentang garis-garis gelap pada sinar matahari. Fraunhofer adalah seorang pekerja kaca dan membangun spektroskop pertama untuk mengukur indeks bias secara tepat dengan tujuan langsung menghasilkan lensa akromatik. Ia melakukan pengamatan pada sinar matahari dengan spektroskopi di ruangan gelap sekitar 8 m dari celah sempit untuk mencari presisi yang lebih besar, Dia mencatat dan mulai mempelajari banyak garis-garis gelap. Fraunhofer menunjukkan bagaimana mengukur posisi garis dengan tepat tetapi tidak berusaha memberikan eksplanasi tentang asal usulnya (Koirtyohann, 1980, 1991).

Pada tahun 1859 dan 1860, Kirchhoff, seorang ahli fisika, dan Bunsen, seorang ahli kimia, di Universitas Heidelberg, tidak hanya menjelaskan asal-usul garis Fraunhofer tetapi menggambarkan kegunaan analitik dari pengukuran emisi api dan kondisi yang diperlukan untuk pengamatan penyerapan atom. Bagian penting dari peralatan mereka adalah pembakar yang diciptakan Bunsen beberapa tahun sebelumnya. Untuk pertama kalinya pengamatan spektral dapat dilakukan pada nyala yang hampir tidak bercahaya. Sangat menarik untuk dicatat bahwa hukum umum tentang emisi dan penyerapan cahaya, penjelasan garis Fraunhofer dan asal analisis spektrokimia semua bergantung pada pembakar rendah yang telah digunakan oleh setiap ahli kimia sejak zaman Bunsen (Koirtyohann, 1980, 1991).

Tulisan pertama Kirchhoff berkaitan dengan hukum umum tentang emisi dan penyerapan. Dia mengamati bahwa garis-garis terang yang dapat dilihat dalam spektrum nyala ketika garam logam dimasukkan menjadi garis gelap jika cahaya dengan intensitas yang cukup ditempatkan di belakang api. Berdasarkan fakta ilmiah tersebut, Kirchhoff menarik inferensi dan eksplanasi saintifik sebagai berikut:

I conclude from these observations that a colored flame in whose spectrum bright sharp lines occur so weakens rays of the color of these lines, if they pass through it, that dark lines appear in the place of the bright ones, whenever a source of light of sufficient intensity, in whose spectrum those lines are otherwise absent, is brought behind the flame. I conclude further that the dark lines of the solar spectrum . . . occur because of the presence of those elements in the glowing atmosphere of the sun which would produce in the spectrum of a flame bright lines in the same position."

Dalam publikasi berikutnya, Kirchhoff menyatakan hukum emisinya dan penyerapan, dia menyimpulkan dan memberikan Eksplanasi sebagai berikut:

"Untuk sinar dengan panjang gelombang yang sama pada suhu yang sama, rasio daya pancar terhadap daya serap adalah sama untuk semua benda"

Hukum tersebut membentuk dasar pengembangan teoretis, kemudian oleh Planck pada teori kuantum radiasi dan pada gilirannya untuk penjelasan Bohr tentang asal usul spektrum atom. Ketika Kirchhoff menarik kesimpulannya mengenai komposisi atmosfer matahari, ia memiliki pengetahuan tentang pengamatan yang diterbitkan setahun kemudian dengan Bunsen. Berdasarkan hal tersebut, kemudian mereka memberikan eksplanasi sebagai berikut:

"Sudah diketahui bahwa zat-zat tertentu memiliki sifat memberikan warna yang pasti pada api yang dipanaskan. Ketika cahaya berwarna yang dihasilkan dianalisis dengan prisma, spektrum yang menunjukkan pita warna berbeda atau garis cahaya terlihat. Dengan munculnya garis-garis cahaya ini, metode analisis kimia yang sepenuhnya baru dapat digunakan"

Sumber cahaya mereka terdiri dari nyala api Bunsen di mana garam dapat dimasukkan pada kawat platinum. Dua teleskop digunakan, satu untuk penerangan dan satu untuk mengamati cahaya yang tersebar dari prisma yang dipenuhi karbon disulfida. Prisma dapat diputar untuk membuat bagian spektrum yang diinginkan terlihat. Versi spektroskopi selanjutnya termasuk skala yang memungkinkan pengaturan untuk direproduksi dan juga ketentuan untuk menerangi celah masuk dari dua sumber untuk tujuan perbandingan. Instrumen mereka berisi semua fitur penting dari spektroskop modern (Koirtyohann, 1980, 1991).

Kirchhoff dan Bunsen bereksperimen dengan api dengan suhu berbeda dan dengan berbagai garam dari unsur alkali dan alkali tanah yang diketahui. Mereka menyimpulkan dan membuat Eksplanasi sebagai berikut:

"Di antara sejumlah besar garam yang telah kami periksa yang sesuai untuk analisis spektrum dalam nyala api, kami belum bertemu satu pun yang, terlepas dari beragamnya unsur yang dikombinasikan dengan logam, belum menunjukkan garis-garis logam. Karena itu, orang dapat berasumsi bahwa dalam semua kasus, garis spektrum suatu zat sepenuhnya independen dari unsur-unsur yang terkait dengannya"

Analisis spektroskopi nyala mengalami pertumbuhan yang luas selama dua dekade dari 1930 hingga 1950, sebagian besar didasarkan pada eksitasi listrik. Sumber api tidak digunakan pada model awal karena hanya beberapa elemen yang bisa digunakan dengan baik. Sesuatu yang mengejutkan, spektroskopi nyala dan Bunsen pembakaran memiliki sejarah terpisah. Upaya awal analisis kuantitatif nyala dibatasi oleh metode pengenalan sampel. Nebulizer pneumatik digunakan untuk tujuan tersebut oleh Gouy pada awal 1879 tetapi dia sedang menyelidiki proses emisi, bukan analisis kuantitatif. Era modern fotometri nyala dimulai pada sekitar tahun 1929 dengan karya Lundegardh, seorang ahli agronomi Swedia. Dia menggunakan api acetylene udara yang telah dicampur, pengenalan sampel nebulizer pneumatik, dan deteksi foto. Dia akhirnya mengembangkan sistem yang sepenuhnya otomatis yang mengubah sampel, mengontrol eksposur, mengembangkan film yang terpapar, dan merekam pelacakan mikrophotometer dari garis spektral. Dia juga mengembangkan metode percikan-nyala-api di mana debit percikan kental dilewatkan melalui nyala api untuk meningkatkan eksitasi beberapa elemen. Semua dari seorang pria yang minat utamanya adalah fisiologi tumbuhan (Koirtyohann, 1980, 1991).

Analisis penyerapan atom pertama kali dijelaskan pada tahun 1955 oleh dua fisikawan, Walsh di Australia dan Alkemade di Belanda (Alkemade, 1952b, 1952a, 1954, 1956; Alkemade & Milatz, 1955). Mereka merekomendasikan metode penyerapan atom ini sebagai metode yang dapat diaplikasikan secara umum. Kirchhoff telah menggambarkan kondisi yang diperlukan untuk metode penyerapan, dan para astronom menggunakan metode serapan spektra ini secara rutin. Spektrokimia memiliki kendala yang disebut *self-absorption* dan *self-reversal* yang sering menyulitkan dan membatasi emisi. Padahal semua teori yang diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut telah dikembangkan antara tahun 1913 sampai dengan sekitar tahun 1925-an. Bahkan, komponen-komponen metode serapan atom yaitu *Hollow cathode lamps* telah dijelaskan oleh Paschen pada tahun 1923 dan secara rutin ditrapkan pada pengukuran merkuri dengan penyerapan atom mulai pada akhir tahun 1930-an (Koirtyohann, 1980, 1991).

Sejarah penyerapan atom sejak 1955 dapat dibagi menjadi beberapa periode perkembangannya setiap Tujuh tahun. Pertama, 1955-1962, adalah periode induksi yang ditandai dengan tidak berkembangnya penelitian tentang serapan atom. Tahun 1962-1969 adalah periode pertumbuhan secara eksplosif atau yang biasa disebut dengan "*The Fun Time*". Ini diikuti oleh 7 tahun berikutnya yang relative stabil pada tahun 1969-1976 dimana SSA (Spektroskopi Serapan Atom) membuat kontribusi terbesarnya ke bidang penelitian lain yang membutuhkan data. Ledakan kedua, kali ini dalam elektronik, dampaknya terhadap pengembangan SSA pada sekitar tahun 1976 dan kita sekarang berada dalam periode perubahan yang disebabkan oleh mikroprosesor (Koirtyohann, 1980, 1991).

4. Kesimpulan

Inferensi dan Eksplanasi ilmiah dibutuhkan dalam perkembangan Spektroskopi Serapan Atom (SSA). Para peneliti menggunakan berbagai cara inferensi seperti induktif yang dilakukan oleh Newton untuk menemukan refraksi cahaya melalui prisma, Inferensi deduksi yang dilakukan oleh Wollaston, Kirchhoff, Bunsen, Walsh, dan Alkemade untuk mengembangkan temuan mereka berdasarkan fakta-fakta yang telah ditemukan sebelumnya. Inferensi yang dilakukan oleh para ahli di atas selalu berdampingan dengan eksplanasi ilmiah. Eksplanasi ini dibutuhkan untuk menjelaskan temuan mereka tentang suatu fenomena. Setiap perkembangan pada SSA didasarkan pada eksplanasi saintifik yang saling mendukung satu-sama lain.

Daftar Pustaka

- Alkemade, C. T. J. (1952a). A Stabilized And Calibrated A.C. Voltage Source. *Appl. Sci. Res*,3, 47–50.
- Alkemade, C. T. J. (1952b). Effects of Ionixation in Air-Acetylene Flame. *Physica*, 18(11), 933–934.
- Alkemade, C. T. J. (1954). A Proposed Method Of Infra-Red Detection Based On Thermal Conversion Of Radiation. *Physica*, 20, 433–436.
- Alkemade, C. T. J. (1956). The influence of the flame characteristics on the emission. *Colloquium Spcctroscoplcum Internntionale VI*, 7–19.
- Alkemade, C. T. J., & Milatz, J. M. W. (1955). A Double-Beam Method of Spectral. *Appl. Sci. Res*,4, 289–299.
- Braaten, M., & Windschitl, M. (2011). Working Toward a Stronger Conceptualization of Scientific Explanation for Science Education. *ScienceEducation*, 95, 639–669. <https://doi.org/10.1002/sce.20449>
- Brigandt, I. (2010). Scientific Reasoning Is Material Inference: Combining Confirmation , Discovery , and Explanation. *International Studies in the Philosophy of Science*, 24(1), 31–43. <https://doi.org/10.1080/02698590903467101>
- Cohen, A. (2018). Kant on science and normativity. *Studies in History and Philosophy of Science*, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2018.03.002>
- Conn, H. w. (1887). Scientific Fact and Scientific Inference. *The American Naturalist*, 21(9), 791–799.
- Day, M., & Botterill, G. S. (2008). Contrast , inference and scientific realism. *Synthese*, 160, 249–267. <https://doi.org/10.1007/s11229-006-9117-x>
- Firman, H. (2019a). Eksplanasi Ilmiah. In *Pengantar Filsafat Ilmu Pengetahuan Alam* (pp. 39–46). Bandung: Program Studi Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Sekolah Pascasarjana, UPI.
- Firman, H. (2019b). Inferensi Ilmiah. In *Pengantar Filsafat Ilmu Pengetahuan Alam* (pp. 25–30). Bandung: Program Studi Pendidikan Ilmu Pengetahuan Alam, Sekolah Pascasarjana, UPI.
- Friedman, M. (1974). Explanation and Scientific Understanding. *The Journal of Philosophy*, 121(1), 5–19.
- Gruende, D. (1980). Scientific Explanation and Norms in Science. *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, 1(May), 329–335.
- Hartmann, S. (2001). Effective Field Theories, Reductionism and Scientific Explanation. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 32(2), 267–304.
- Hitchcock, C. R. (1992). Causak Explanation and Scientific Realism. *Erkenntnis*, (1984), 151–178.
- Koirtyohann, S. R. (1980). A History of Atomic Absorption Spectroscopy. *Spectrochimica Acta*, 35B, 663–670.
- Koirtyohann, S. R. (1991). Atomic Absorption Spektrometry. *Analytical Chemistry*, 63(21).

- Ladyman, J. (2002). *Understanding Philosophy of Science*. London: Routledge.
- Lange, M. (2012). Abstraction and Depth in Scientific Explanation. *Philosophy and Phenomenological Research*, 134(2), 483–491.
- Lange, M. (2013). Grounding , scientific explanation , and Humean laws. *Philos Stud*, (July 2012), 255–261. <https://doi.org/10.1007/s11098-012-0001-x>
- Mackinnon, E. (1978). The Development of Kant's Conception of Scientific Explanation. In *Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association* (Vol. 1, pp. 18–30).
- Osborne, J. F., & Patterson, A. (2011). Scientific Argument and Explanation: A Necessary Distinction? *ScienceEducation*, 627–638. <https://doi.org/10.1002/sce.20438>
- Pearl, J. (2014). The Deductive Approach to Causal Inference. *De Grueter*, 2(2), 115–129. <https://doi.org/10.1515/jci-2014-0016>
- Salmon, H., & Salmon, W. C. (1979). Alternative Models of Scientific Explanation. *American Anthropologist*, 81, 61–74.
- Tennant, N. (2010). The Logical Structure of Scientific Explanation and Prediction: Planetary Orbits in a Sun's Gravitational Field. *Studia Logica*, 95, 207–232. <https://doi.org/10.1007/s11225-010-9257-3>
- Weber, E., Van Bouwel, J., & De Vreese, L. (2013). Theories of Scientific Explanation. In *Scientific Explanation* (pp. 1–23). SpringerBriefs in Philosophy. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6446-0_1