

Teknik Kimia Ditinjau dari Perspektif Filsafat Sains, Filsafat Kimia dan Filsafat Engineering

Ragil S Dewantoro¹, Siti Masitoh², Mochamad Nursalim³

¹SMKN 1 Pasuruan

^{2,3}Universitas Negeri Surabaya

Email: rs.dewantoro@gmail.com, sitimasitoh@unesa.ac.id, mochamadnursalim@unesa.ac.id

Abstract

Chemical engineering emerged in the early 20th century as a separate body of knowledge that could guide the design and operation of plants. More specifically *chemical engineering* is the body of knowledge about the design of process plants for producing chemicals or other products whose production involves chemical transformations. *Chemical engineering* has an important relationship with science, even though this relationship is very different from the usual picture. Although *chemical engineering* dates back more than 100 years. However, there are still many ordinary people, especially high school or vocational school graduates who will continue their education to a higher level, still feel confused about what *chemical engineering* is. This study was made with the aim of introducing *Chemical engineering* further by examining *Chemical engineering* from the perspective of philosophy of science, philosophy of chemistry and philosophy of *engineering*. From the results of the study it can be concluded that *chemical engineering* is a complex field of science consisting of many components such as chemistry, physics, mathematics, mechanics, art, social sciences. All of these components synergize and complement each other in the field of *chemical engineering* so as to produce reliable *engineers* who will be ready to face any challenges

Keywords: *chemical engineering, philosophy of science, chemical philosophy, engineering philosophy*

Abstrak

Teknik kimia muncul pada awal abad ke-20 sebagai badan pengetahuan terpisah yang dapat memandu desain serta pengoperasian pabrik. Lebih khusus teknik kimia adalah kumpulan pengetahuan tentang desain pabrik proses untuk menghasilkan bahan kimia atau produk lain yang produksinya melibatkan transformasi kimia. Teknik kimia memiliki hubungan yang penting dengan sains, meskipun hubungan ini sangat berbeda dari gambaran biasanya. Meskipun teknik kimia sudah ada sejak lebih dari 100 tahun yang lalu. Akan tetapi masih banyak masyarakat awam khususnya lulusan SMA atau SMK yang akan melanjutkan pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi masih merasa bingung mengenai apa itu teknik kimia. Penelitian ini dibuat dengan tujuan untuk lebih mengenalkan Teknik Kimia dengan mengupas Teknik Kimia dari perpesktif filsafat sains, filsafat kimia dan filsafat *engineering* Penelitian ini menggunakan metode kepustakaan (literatur review), yaitu serangkaian penelitian yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa teknik kimia merupakan suatu bidang ilmu kompleks yang terdiri dari banyak komponen seperti kimia, fisika, matematika, mekanika, seni, ilmu sosial. Semua komponen tersebut bersinergi dan saling mengisi dalam bidang *chemical engineering* sehingga menghasilkan *engineer-engineer* handal yang akan siap menghadapi tantangan apapun

Kata Kunci: *teknik kimia, filsafat sains, filsafat kimia, filsafat engineering*

PENDAHULUAN

Teknik kimia atau *Chemical engineering* muncul pada awal abad ke-20 sebagai badan pengetahuan terpisah yang dapat memandu desain serta pengoperasian pabrik proses kimia, termasuk pabrik yang memproduksi produk yang

sudah mapan, seperti amonia, selain yang baru. Ekspansi cepat teknik kimia pada abad ke-20, bagaimanapun, tidak begitu banyak karena pertumbuhan akhir abad ke-19 dari industri pewarna sintetis tetapi industri lain yang jauh lebih bergantung pada kemampuan teknik kimia

(Rosenberg, 2009). George E Davis penulis buku *Handbook of Chemical engineering*, yang diterbitkan pada tahun 1901 adalah orang yang pertama kali mengenalkan disiplin ilmu teknik kimia, dimana disiplin ilmu ini akan menghasilkan seorang insinyur teknik kimia yang menguasai ilmu kimia dan memahami ilmu fisika serta memahami ilmu mekanika. Davis beralasan bahwa banyak ahli kimia yang sukses mereaksikan zat kimia di dalam laboratorium tapi tidak bisa menerapkan dalam produksi skala besar karena dia tidak menguasai ilmu fisika dan mekanika (Flavell-While, 2012). Teknik kimia adalah cabang teknik yang berhubungan dengan produksi kimia dan pembuatan produk melalui proses kimia. Ini termasuk merancang peralatan, sistem, dan proses untuk memurnikan bahan mentah dan untuk mencampur, meracik, dan memproses bahan kimia untuk membuat produk yang berharga (Lucas, 2022).

Lebih khusus teknik kimia adalah kumpulan pengetahuan tentang desain pabrik proses untuk menghasilkan bahan kimia atau produk lain yang produksinya melibatkan transformasi kimia (Cohen, 1996). Teknik kimia memiliki hubungan yang penting dengan sains, meskipun hubungan ini sangat berbeda dari gambaran biasanya. Ketika teknik kimia semakin matang, dia menciptakan kerangka kerja yang memungkinkan untuk mengeksplorasi sains dan metodologi sains secara lebih efektif. Tapi pada awalnya kemungkinan seperti itu cukup terbatas. Hanya ketika disiplin teknik kimia mencapai tahap yang cukup matang, barulah mungkin untuk mengeksplorasi sains dengan cara yang lebih sistematis. Pembangunan kerangka kerja, atau platform itu, merupakan langkah awal yang diperlukan. Dalam hal ini teknik (*engineering*) mendahului sains dan meletakkan dasar awal yang memungkinkan pemanfaatan sains. Untuk memahami peran teknik kimia dalam perubahan teknologi, kita perlu memiliki pandangan yang dipegang secara universal luas bahwa teknik kimia, seperti profesi teknik lainnya, hanyalah sains terapan - dalam hal ini sains kimia terapan (Rosenberg, 2009).

Meskipun teknik kimia sudah ada sejak lebih dari 100 tahun yang lalu. Akan tetapi masih banyak masyarakat awam khususnya lulusan SMA atau SMK yang akan melanjutkan

pendidikan ke jenjang yang lebih tinggi masih merasa bingung mengenai apa itu teknik kimia (Agustian et al., 2022). Artikel ini dibuat dengan tujuan untuk lebih mengenalkan Teknik Kimia dengan mengupas Teknik Kimia dari perpesktif filsafat sains, filsafat kimia dan filsafat *engineering*. Hal ini dikarenakan sesuai penjelasan sebelumnya bahwa teknik kimia tidak terlepas dari ketiga hal tersebut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kepustakaan (literatur review), yaitu serangkaian penelitian yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, Fokus penelitian kepustakaan adalah menemukan berbagai teori, hukum, dalil, prinsip, atau gagasan yang digunakan untuk menganalisis dan memecahkan pertanyaan penelitian yang dirumuskan. Adapun sifat dari penelitian ini adalah analisis deskriptif, yakni penguraian secara teratur data yang telah diperoleh, kemudian diberikan pemahaman dan penjelasan agar dapat dipahami dengan baik oleh pembaca.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perspektif Filsafat Sains

Pendidikan sains di sekolah harus mengakomodasi dua kelompok besar siswa yaitu kelompok siswa yang akan mempelajari sains pada tingkat lanjutan dan mereka yang tidak. Dengan demikian, kurikulum sains harus menjadi persiapan yang baik dan memadai untuk studi selanjutnya dan harus memastikan literasi sains bagi orang lain (mayoritas) yang akan memilih pengejaran alternatif. Dalam memenuhi kedua kebutuhan tersebut maka kurikulum harus mengajarkan sains dan mengajarkan tentang sains. Maka, pertanyaan penting dalam desain kurikulum sains adalah apakah seseorang dapat mempelajari apa itu ilmiah (scientific) tanpa menjadi ilmiah dan apakah seseorang dapat menjadi ilmiah tanpa mengetahui apa itu ilmiah (Hodson, 1985). Kuslan and Stone dalam Hodson, 1985 menjelaskan bahwa jika seseorang diajarkan tentang metodologi dan filsafat sains maka dia akan bisa membedakan antara sains dan non sains. Karl Popper dalam Pointon 2010 menyebut bahwa perbedaan antara sains dan non

sains (termasuk pseudosains) ini sebagai pertanyaan sentral dalam filsafat sains.

Menurut Losee, 2001 filsafat sains berfokus dengan empat pertanyaan dasar,

1. Apa yang membedakan antara penyelidikan berbasis sains dengan penyelidikan lainnya ?
2. Apa yang harus dilakukan ilmuwan ketika meneliti fenomena alam?
3. Kondisi apa saja yang harus terpenuhi supaya penjelasan ilmiah dapat dikatakan benar ?
4. Apa status kognitif dari hukum dan prinsip ilmiah ?

Sedangkan Pointon 2010 menyebutkan bahwa dua pertanyaan utama tentang filsafat sains adalah (1) apa tujuan sains dan (2) bagaimana seharusnya menginterpretasikan hasil sains?. Lebih lanjut Pointon mengungkapkan bahwa filsafat sains berkaitan dengan semua asumsi, dasar, metode, implikasi sains, dan dengan penggunaan dan manfaat sains. Kemudian Barker & Kitcher, 2014 juga mengungkapkan bahwa filsafat sains berusaha menjawab atau setidaknya mendiskusikan beberapa pertanyaan sebagai berikut, apakah sains adalah sumber terbaik untuk pengetahuan manusia? Apakah filsafat sains hanya merupakan salah satu dari banyak cara berpikir tentang diri kita dan dunia yang baik dalam cara yang berbeda atau yang melayani tujuan yang berbeda? Apakah filsafat sauns mereka mengancam pemahaman kita tentang diri kita sendiri, menghadirkan visi dunia yang terbatas atau menyimpang dan tempat kita di dalamnya?

Menurut Fischer dalam Festiana 2018 sains pada hakikatnya adalah suatu cara untuk memperoleh pengetahuan baru yang berupa produk, proses, dan sikap ilmiah. Sains juga bisa diartikan sebagai semua pengetahuan yang diperoleh dengan metode ilmiah /saintifik (Herlanti, 2014). Metode saintifik adalah proses ini melibatkan serangkaian kegiatan, yang terdiri dari: 1) Identifikasi masalah atau fenomena yang ingin dicarikan solusinya, 2) Perumusan hipotesis, 3) Eksperimen, 4) Pengumpulan data, dan 5) Pengambilan kesimpulan (Festiana, 2018). Pada hakikatnya sains bersifat umum (universal), dengan kata lain kebenaran sains akan diperoleh hasil yang sama meskipun dilakukan oleh siapapun, kapanpun, serta dimanapun. Sains bersifat logis dan sistematis,

serta dilakukan melalui penelitian yang empiris dan objektif (Efendi & Sartika, 2021). Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa secara filsafat, sains adalah sebuah pengetahuan dan atau kebenaran yang diperoleh dengan metode saintifik.

Perspektif Filsafat Kimia

Sampai sekitar tahun 1960, terutama di negara-negara berbahasa Inggris filsafat sains didominasi oleh filsafat fisika. Ada banyak literatur yang membahas hal apa yang mungkin menjadi penyebab diabaikannya kimia dalam filsafat sains dan bisa jadi hal tersebut adalah benar. Salah satu kemungkinan adalah minat para filsuf sains pra-1960 adalah sains teoritis. Sehingga pada saat itu, fisika dan kimia disatukan sebagai ilmu alam eksakta dengan fokus mempelajari struktur logisnya. Ini berarti bahwa minatnya ada pada hukum dalam arti persamaan matematika yang menyatakan hubungan antara kuantitas dan teori yang aksiomatik (van Brakel, 2014).

Baru pada tahun 1990-an, karena berbagai faktor, filosofi kimia mulai muncul, pertama di beberapa negara Eropa, yang mengarah ke upaya internasional, pada saat itu enam prosiding konferensi yang didedikasikan untuk filsafat kimia muncul (van Brakel, 2014). Dan kemudian pada tahun 2000 an semakin banyak filsafat kimia yang muncul di jurnal-jurnal filsafat kelas dunia. Berdasarkan teori reduksionisme kimia dan fisika memang dekat secara onthologi (Scerri & McIntyre, 2008). Kemudian Scerri & McIntyre melanjutkan bahwa yang terjadi adalah reduksi yang tidak lengkap. Di satu sisi kegagalan reduksi ini sangat mudah direalisasikan begitu seseorang menganggap penerapan persamaan Schrödinger bahkan pada sistem sesederhana atom helium menempatkan kita langsung ke masalah yang dengan banyak alternatif solusi. Tapi solusi untuk masalah tersebut adalah perkiraan, seperti yang diketahui dalam fisika. Terlebih lagi, fakta yang menyedihkan bagi kimia adalah bahwa hanya persamaan Schrödinger untuk atom hidrogen yang memiliki penyelesaian eksak. Jadi, meskipun pada dasarnya kimia dan fisika berhubungan, namun tampaknya sangat tepat untuk menolak penjelasan reduktif dalam beberapa kasus. Namun kita harus mengakui

ketergantungan ontologis fakta kimia pada fakta fisika, tapi bukan dengan reduksi epistemologis kimia menjadi fisika.

Filsafat kimia harus melampirkan (sebagian besar) kimia fisik, fisika kimia, ilmu material, geologi, dan biologi molekuler. Kimia juga bisa diartikan sebagai sains dari perubahan zat, termasuk perubahan yang tidak melibatkan reaksi kimia, seperti pada proses distilasi dan penghalusan. Kimia juga sering berurusan dengan aksiologi terutama ketika ada bahan kimia yang butuh untuk digunakan akan tetapi memiliki efek atau dampak negatif terhadap manusia dan lingkungannya. Misalkan ketika digunakan merkuri untuk menambang emas di satu sisi penambangan emas akan menggerakkan roda ekonomi tapi di satu sisi penggunaan merkuri dapat berbahaya untuk manusia dan lingkungannya. Maka secara aksiologi hal ini dipertanyakan mana yang harus didahulukan nilainya dalam menggerakkan roda ekonomi atau nilai aksiologi bahwa zat tersebut berbahaya untuk manusia dan lingkungan.

Perspektif Filsafat *Engineering*

Berbicara tentang filsafat *engineering* tentu juga harus berbicara tentang onthologi, epistemologi, aksiologi dan metodologi dari *engineering*. Secara onthologi *engineering* adalah tentang apa saja pengetahuan yang harus diketrahui oleh seorang *engineer*. Dari sisi epistemologi adalah tentang apa itu *engineering*. Sedangkan dari merodologi adalah bagaimana pengetahuan tentang *engineering* disusun. Dan dari sisi aksiologi adalah mengenai nilai dari pengetahuan *engineering*(Figueiredo, 2008)

Engineering menggunakan pengetahuan yang disediakan oleh sains tapi *engineering* secara sederhana bukanlah aplikasi dari sains. Lebih dari itu tujuan keduanya berbeda, sains bertujuan untuk ilmu pengetahuan sementara *engineering* bertujuan untuk perubahan yang bermanfaat (Bulleit et al., 2015). Secara khusus, Goldman dalam Bulleit et al., 2015, mengungkapkan bahwa sains seharusnya memperhatikan kebutuhan, kepastian, universalitas, dan keabstrakan. Hal ini untuk mencari pengetahuan objektif tentang kebenaran abadi yang didasarkan pada realitas, untuk tujuan kontemplasi dan pemahaman intelektual. Sebaliknya, *engineering* dicirikan oleh

kontingensi, probabilitas, kekhususan, dan kekonkretan. Insinyur mengandalkan pengetahuan subjektif dan pendapat yang berasal dari pengalaman pribadi dan atau pengalaman orang lain sebelumnya, dengan tujuan untuk tindakan yang tepat dan bermanfaat.

Sedangkan National Academy of *Engineering* (NAE) (2005) berpendapat bahwa sains berawal dari karya para cendekiawan yang didukung oleh pelindung kaya dan karya pribadi bangsawan kaya yang memandang ke bintang-bintang untuk memahami asal-usul alam semesta dan kehidupan atau yang tergugah untuk memahami sifat fisika, kimia, atau alam semesta. dunia biologis di sekitar mereka. Dan *engineering* berawal dari perdagangan, dalam upaya membuat dan mengimplementasikan sesuatu yang bermanfaat, pertama untuk tujuan militer dan kemudian untuk tujuan sipil.

Para ilmuwan ingin memahami cara kerja sistem. Sedangkan *engineer* ingin merancang dan membuat sistem baru. Tentu saja, para *engineer* menggunakan pengetahuan matematika dan sains dalam merancang artefak baru, tetapi desain dan kreasi lebih dari sekadar matematika dan sains. Tetapi lebih sering *engineer* berdiri di atas bahu insinyur lain ketika mereka merancang. Dengan kata lain *engineer* lebih sering menggunakan pengalaman dan pengetahuan *engineer* sebelumnya ketika mereka merancang. Untuk memahami apa itu *engineering* maka kita harus mengetahui dimensi yang ada di *engineering*. Setidaknya ada empat dimensi sebagaimana yang terlihat dari gambar berikut ;

SOCIAL SCIENCES engineer as sociologist	BASIC SCIENCES engineer as scientist
DESIGN engineer as designer	PRACTICAL REALIZATION engineer as doer

Gambar 1. Empat dimensi dari engineering (sumber : Figueiredo, 2008)

Dimensi yang diilhami oleh basic sciences memandang *engineering* sebagai penerapan ilmu-ilmu alam dan eksakta,

menekankan nilai-nilai logika dan ketelitian, dan melihat pengetahuan dihasilkan melalui analisis dan eksperimen. Penelitian adalah modus operandi yang lebih disukai dari dimensi ini, di mana penemuan prinsip pertama dipandang sebagai aktivitas yang mengarah pada pengakuan yang lebih tinggi.

Dimensi social sciences melihat *engineer* tidak hanya sebagai ahli teknologi, tetapi juga sebagai pakar sosial, dalam kemampuan mereka untuk mengenali sifat sosial dunia yang mereka tangani dan kompleksitas sosial dari tim tempat mereka berada. Penciptaan nilai sosial dan ekonomi serta keyakinan akan kepuasan pengguna akhir muncul sebagai nilai sentral dalam dimensi rekayasa ini.

Dimensi desain melihat *engineering* sebagai seni desain. Ini lebih menghargai pemikiran sistem daripada pemikiran analitis yang menjadi ciri ilmu pengetahuan tradisional. Praktiknya didasarkan pada visi dunia yang holistik, kontekstual, dan terintegrasi, bukan pada visi parsial. Nilai khas dari dimensi ini termasuk mengeksplorasi alternatif dan berkompromi. Dalam dimensi ini, yang seringkali menggunakan bentuk pemikiran non-ilmiah, keputusan kunci seringkali didasarkan pada pengetahuan dan intuisi yang tidak lengkap, serta pada pengalaman pribadi dan kolektif. Dimensi keempat memandang *engineering* sebagai suatu cara untuk menyelesaikan sesuatu, dan mengatasi kompleksitas dengan fleksibilitas dan ketekunan.

Teknik Kimia Ditinjau dari Perspektif Filsafat Sains, Filsafat Kimia dan Filsafat Engineering

Jika dilihat dari perspektif filsafat sains, filsafat kimia dan filsafat *engineering* yang telah dijelaskan di bagian sebelumnya, maka seharusnya teknik kimia adalah sebuah aplikasi sains dan merupakan gabungan kombinasi antara *engineering*, ilmu kimia, dan ilmu fisika. Streveler dkk. (2008) mengklarifikasi bahwa *engineering* ini terdiri dari tiga komponen utama:

1. *Engineering* sebagai pemecahan masalah terdiri dari proses sistematis yang digunakan para *engineer* untuk mendefinisikan dan memecahkan masalah.
2. *Engineering* sebagai pengetahuan yang terdiri dari pengetahuan khusus yang

memungkinkan dan memicu proses pemecahan masalah.

3. *Engineering* sebagai integrasi proses dan pengetahuan. Jadi pengetahuan, termasuk pengetahuan konseptual, merupakan inti dari praktek *engineering*

Karena itu teknik kimia atau *chemical engineering* juga tidak terlepas dari ketiga hal tersebut. Dalam komponen pertama pemecahan masalah yang ada di teknik kimia adalah memecahkan masalah bagaimana sebuah reaksi kimia di skala laboratorium bisa terwujud dalam skala yang lebih masive atau dalam skala industri masal. Hal ini dikarenakan banyak ahli kimia yang sukses mereaksikan zat kimia di dalam laboratorium tapi tidak bisa menerapkan dalam produksi skala besar karena dia tidak menguasai ilmu fisika dan mekanika (Davis dalam Flavell-While, 2012).

Komponen kedua menyebutkan *engineer* sebagai pengetahuan yang terdiri dari pengetahuan khusus, yang memungkinkan dan memicu proses pemecahan masalah. Dalam teknik kimia ada beberapa pengetahuan yang memang hanya di pelajari secara mendalam dan tidak di temukan dipelajari secara mendalam di bidang *engineering* lain, misal seperti neraca massa dan neraca energi.

Komponen yang ketiga terdiri dari pengetahuan konseptual, dimana pengetahuan yang dimaksud adalah sains, baik itu berupa sains dasar seperti sains alam dan sains sosial. Sehingga secara keilmuan teknik kimia tidak akan bisa terlepas dari sains, baik itu matematika, fisika, kimia ataupun ilmu sosial. Dalam teknik kimia juga dipelajari sosial sains karena dalam teknik kimia juga dipelajari ilmu sosial seperti ekonomi teknik.

Teknik kimia pada abad 21 telah berkembang pesat dan diversifikasi ke banyak bidang teknologi baru seperti energi terbarukan, nanoteknologi, dan rekayasa biomolekuler (Schaschke, 2014). Menurut Gwehenberger & Narodoslawsky, 2008 ada tiga tantangan yang sangat berat dan akan membentuk teknik kimia di abad 21 ini. Mereka adalah sebagai berikut:

1. Perubahan basis bahan baku: Saat ini industri kimia sangat bergantung pada minyak dan gas fosil sebagai basis bahan baku utamanya. Kedua sumber daya tersebut akan

menghadapi puncak produksinya selama abad ini, memaksa industri proses untuk mencari sumber daya alternatif.

2. Penatagunaan siklus hidup: Masalah mendesak dari degradasi lingkungan, terutama pemanasan global, membutuhkan pendekatan baru untuk memberikan layanan kepada masyarakat. Ada dua prinsip utama untuk industri kimia di abad ke-21: efisiensi setinggi mungkin dan dampak lingkungan serendah mungkin. Keduanya hanya dapat dipenuhi jika sektor tersebut akan mengambil alih tanggung jawab atas produknya mulai dari pembangkitan bahan baku hingga reintegrasi residu dan limbah. Dengan demikian teknik kimia akan menjadi perhatian tidak hanya dengan membangun proses tetapi dengan mengembangkan dan mengoptimalkan seluruh siklus hidup produk.
3. Prinsip konstruksi baru: Untuk pertama kalinya sejak beberapa dekade, industri proses harus menghasilkan struktur industri baru untuk seluruh rantai nilai. Selain optimalisasi ekonomi, pengurangan dampak ekologis sepanjang siklus hidup akan menjadi kebutuhan. Ini berarti teknik kimia menerapkan prinsip-prinsip baru untuk konstruksi prosesnya: sintesis proses dan evaluasi proses ekologis akan menjadi alat utama bagi insinyur kimia di abad ke-21.

Ketiga tantangan tersebut akan dapat dihadapi oleh para *engineer* teknik kimia, jika para *engineer* kembali ke empat dimensi *engineering* sebagaimana yang disampaikan oleh Figueiredo, 2008. Dengan kembali ke empat dimensi tersebut seorang *engineer* teknik kimia akan kembali ke akar utamanya sebagai *engineering*, sehingga mampu menghadapi tantangan apapun.

KESIMPULAN

Teknik kimia merupakan suatu bidang ilmu kompleks yang terdiri dari banyak komponen seperti kimia, fisika, matematika, mekanika, seni, ilmu sosial. Semua komponen tersebut bersinergi dan saling mengisi dalam bidang *chemical engineering* sehingga menghasilkan *engineer-engineer* handal yang akan siap menghadapi tantangan apapun.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustian, J., Hermida, L., & Purba, E. (2022). Roadshow 80 Tahun Teknik Kimia Indonesia: Presentasi Pendidikan Teknik Kimia dan Bidang Karir Alumni Kepada Para Guru Kimia Sekolah Menengah Atas/Kejuruan. *Abdimas Singkerru*, 2(2), 248–253.
- Barker, G., & Kitcher, P. (2014). *Philosophy Of Science: A New Introduction*. *Choice Reviews Online*, 52(03), 52-1377-52-1377. <https://doi.org/10.5860/choice.185005>
- Bulleit, W., Schmidt, J., Alvi, I., Nelson, E., & Rodriguez-Nikl, T. (2015). *Philosophy Of Engineering: What It Is And Why It Matters*. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 141(3). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EI.1943-5541.0000205](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000205)
- Cohen, C. (1996). *The Early History Of Chemical Engineering: A Reassessment*. *British Journal for the History of Science*, 29(2), 171–194. <https://doi.org/10.1017/s000708740003421x> diakses pada 10 Nopember 2022, pukul 19.00 WIB
- Efendi, N., & Sartika, S. B. (2021). *Buku Ajar Filsafat Sains*. UMSIDA Press.
- Festiana, I. (2018). *Perkembangan Eksperimen Fisika Ditinjau dari Filsafat Sains*. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah)*, 2(1), 14–20. <https://doi.org/10.30599/jipfri.v2i1.147>
- Figueiredo, A. D. de. (2008). *Toward an Epistemology of Engineering*. *The Royal Academy of Engineering*, 94–95.
- Flavell-While, C. (2012, March). *Meet the daddy. Chemical Engineers Who Changed The World - TCE Today*, 52–54.
- Gwehenberger, G., & Narodoslowsky, M. (2008). *Sustainable Processes-The Challenge Of The 21st Century For Chemical engineering*. *Process Safety and Environmental Protection*, 86(5), 321–327. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2008.03.004>

- Herlanti, Y. (2014). Tanya Jawab Seputar Penelitian Pendidikan Sains. UIN Syarif Hidayatulah.
- Hodson, D. (1985). Philosophy of science, science and science education. In *Studies in Science Education* (Vol. 12, Issue 1). <https://doi.org/10.1080/03057268508559922>
- Losee, J. (2001). A Historical Introduction to the Philosophy of Science. In Oxford University Press (fourth). Oxford University Press. <https://doi.org/10.2307/1573195>
- Lucas, J. (2022). What Is *Chemical engineering?* Live Science. <https://www.livescience.com/48134-what-is-chemical-engineering.html>
- Pointon, D. (2010). Philosophy of science. *Review of Metaphysics*, 63(4), 921–923. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=ofm&AN=505330900&lang=es&site=ehost-live>
- Rosenberg, N. (2009). *Studies On Science And The Innovation Process Selected Works of Nathan Rosenberg*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Scerri, E. R., & McIntyre, L. (2008). The Case For The Philosophy Of Chemistry. *Collected Papers on Philosophy of Chemistry*, 25–44. https://doi.org/10.1142/9781848161382_0002
- Schaschke, C. (2014). *A Dictionary of Chemical engineering*. Oxford University Press.
- Streveler, R. A., Litzinger, T. A., Miller, R. L., & Steif, P. S. (2008). In the *engineering sciences: Overview and future research directions*. *Journal of Engineering Education*, July, 279–294.
- van Brakel, J. (2014). Philosophy of science and philosophy of chemistry. *Hyle International Journal for Philosophy of Chemistry*, 20(1), 11–57.