

**PERAN NATURE OF SCIENCE (NOS) DALAM PENGEMBANGAN LITERASI SAINS****Sri Astutik Handayani**

Institut Agama Islam Negeri Madura, Indonesia

shandayani@staff.iainmadura.ac.id

<b>Keywords</b>	<b>Abstract</b>
Nature of Science, Scientific Literacy, Science Education, Scientific Epistemology, Reflective Learning	This research aims to analyze the role of the Nature of Science (NOS) in developing scientific literacy based on a comprehensive literature review. NOS is understood as a concept that explains science as a way of knowing, encompassing the values and assumptions inherent in the development of scientific knowledge. Through library research methods, this article systematically examines various primary and secondary sources from reputable scientific journals, reference books, and educational policy documents published within the last decade. The findings indicate that understanding NOS plays a significant role in three dimensions of scientific literacy development: (1) building a strong epistemological foundation of science in students, (2) developing critical and reflective thinking abilities in analyzing scientific claims, and (3) facilitating interdisciplinary and contextual understanding in science learning. Research findings reveal that explicit and reflective integration of NOS in science education can enhance students' scientific literacy quality, particularly in evaluating the validity of scientific information and making science-based decisions in daily life. This research recommends the necessity of developing curricula and learning models that systematically incorporate aspects of NOS to facilitate students in understanding not only science content but also how scientific knowledge is constructed and validated.
<b>Kata Kunci</b>	<b>Abstrak</b>
<i>Nature of Science, Literasi Sains, Pendidikan IPA, Epistemologi Sains, Pembelajaran Reflektif</i>	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis peran hakikat sains atau Nature of Science (NOS) dalam pengembangan literasi sains berdasarkan kajian literatur komprehensif. NOS dipahami sebagai konsep yang menjelaskan sains sebagai cara untuk memperoleh pengetahuan, mencakup nilai-nilai dan asumsi yang melekat dalam pengembangan pengetahuan ilmiah. Melalui metode penelitian kepustakaan, artikel ini mengkaji secara sistematis berbagai sumber primer dan sekunder dari jurnal ilmiah bereputasi, buku referensi, dan dokumen kebijakan pendidikan yang diterbitkan dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir. Hasil kajian menunjukkan bahwa pemahaman NOS berperan signifikan dalam tiga dimensi pengembangan literasi sains: (1) membangun fondasi epistemologi sains yang kuat pada peserta didik, (2) mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan reflektif dalam menganalisis klaim ilmiah, dan (3) memfasilitasi pemahaman interdisipliner dan kontekstual dalam pembelajaran sains. Temuan penelitian mengungkapkan bahwa integrasi NOS dalam pembelajaran sains secara eksplisit dan reflektif dapat meningkatkan kualitas literasi sains peserta didik, khususnya dalam kemampuan mengevaluasi validitas informasi ilmiah dan mengambil keputusan berbasis sains dalam kehidupan sehari-hari. Penelitian ini

merekendasikan perlunya pengembangan kurikulum dan model pembelajaran yang memadukan aspek-aspek NOS secara sistematis untuk memfasilitasi peserta didik memahami tidak hanya konten sains tetapi juga bagaimana pengetahuan ilmiah dikonstruksi dan divalidasi.



© Cognitive: Jurnal Pendidikan dan Manajemen Pendidikan is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

---

## PENDAHULUAN

Literasi sains telah menjadi tujuan utama pendidikan sains global pada abad ke-21, seiring dengan transformasi masyarakat yang semakin berbasis pengetahuan dan teknologi. Kemampuan untuk memahami, menginterpretasi, dan memanfaatkan informasi ilmiah dalam pengambilan keputusan menjadi keterampilan esensial bagi warga negara di era informasi. Namun, sejumlah studi internasional seperti PISA (*Programme for International Student Assessment*) dan TIMSS (*Trends in International Mathematics and Science Study*) menunjukkan bahwa tingkat literasi sains peserta didik di berbagai negara, termasuk Indonesia, masih belum optimal. Kesenjangan ini mengindikasikan perlunya pendekatan pembelajaran sains yang tidak hanya berfokus pada penguasaan konten, tetapi juga pemahaman tentang bagaimana pengetahuan ilmiah dikonstruksi dan divalidasi, yang merupakan domain dari *Nature of Science* (NOS).

*Nature of Science* atau hakikat sains merupakan konsep fundamental yang merujuk pada epistemologi sains, yaitu cara pengetahuan ilmiah dibangun, dikembangkan, dan diuji validitasnya dalam komunitas ilmiah. NOS mencakup berbagai dimensi termasuk pemahaman bahwa pengetahuan ilmiah bersifat tentatif namun dapat diandalkan, didasarkan pada bukti empiris, dipengaruhi oleh kreativitas dan imajinasi manusia, serta terjalin dengan konteks sosial dan budaya. Lederman dan Lederman menekankan bahwa pemahaman NOS merupakan komponen integral dari melek ilmiah (*scientific literacy*), karena memungkinkan individu untuk memahami tidak hanya “apa yang diketahui” oleh sains tetapi juga “bagaimana kita mengetahuinya” dan “mengapa kita menerimanya sebagai pengetahuan” (Lederman, N. G, 2014).

Integrasi NOS dalam pembelajaran sains telah menjadi fokus reformasi pendidikan sains internasional selama beberapa dekade. Dokumen kebijakan seperti Next Generation Science Standards (NGSS) di Amerika Serikat dan berbagai kurikulum nasional di negara-negara OECD secara eksplisit memasukkan pemahaman NOS

sebagai hasil belajar yang diharapkan. Meskipun demikian, implementasi pembelajaran NOS dalam praktik kelas masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk kesalahpahaman guru tentang NOS, keterbatasan materi pembelajaran yang secara eksplisit mengajarkan NOS, serta tekanan untuk memenuhi tuntutan konten kurikulum yang padat (Abd-El-Khalick, 2009).

Penelitian terdahulu tentang hubungan antara pemahaman NOS dan literasi sains menunjukkan hasil yang bervariasi. Beberapa studi mengkonfirmasi korelasi positif antara pemahaman NOS yang baik dengan tingkat literasi sains yang lebih tinggi (Khishfe, R, 2013; Lederman, N. G, 2013), sementara studi lain menemukan hubungan yang kompleks dan tidak selalu linear (Sadler, T. D., 2010). Inkonsistensi temuan ini menunjukkan perlunya kajian lebih komprehensif tentang bagaimana aspek-aspek spesifik NOS berkontribusi terhadap dimensi-dimensi literasi sains, serta faktor-faktor kontekstual yang memengaruhi hubungan tersebut.

Literasi sains sebagai konstruk multidimensional tidak hanya mencakup pemahaman konten ilmiah tetapi juga kemampuan untuk mengaplikasikan pengetahuan dalam konteks personal dan sosial. Roberts mengusulkan dua visi literasi sains yang saling melengkapi: Visi I yang berfokus pada penguasaan konsep dan proses ilmiah, dan Visi II yang menekankan pada aplikasi sains dalam konteks sosial dan pengambilan keputusan (Roberts, D. A., 2007). Pemahaman NOS tampaknya memiliki relevansi khusus dengan Visi II, karena memberikan fondasi epistemologis yang diperlukan untuk mengevaluasi klaim ilmiah dalam konteks sosial yang kompleks seperti kontroversi sosio-ilmiah (*socio-scientific issues*).

Dalam era post-truth yang ditandai dengan meluasnya misinformasi dan disinformasi ilmiah, peran NOS dalam mengembangkan keterampilan berpikir kritis terhadap klaim ilmiah menjadi semakin krusial. Penelitian menunjukkan bahwa individu dengan pemahaman NOS yang baik lebih mampu membedakan antara argumen berbasis bukti dan opini, serta lebih resisten terhadap klaim pseudosains (Erduran, S., & Dagher, Z. R, 2014). Argumentasi ini semakin menegaskan bahwa NOS bukan sekadar “konten tambahan” dalam pembelajaran sains, melainkan kerangka epistemologis yang esensial untuk membekali peserta didik menghadapi kompleksitas informasi di abad ke-21.

Penelitian ini secara khusus mengkaji peran NOS dalam pengembangan literasi sains berdasarkan analisis literatur komprehensif. Fokus utama kajian adalah

mengidentifikasi mekanisme spesifik dimana pemahaman NOS dapat berkontribusi terhadap berbagai dimensi literasi sains, termasuk pemahaman konten, keterampilan proses, sikap ilmiah, dan kemampuan aplikasi pengetahuan dalam konteks sosial. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis pendekatan pedagogis yang efektif dalam mengintegrasikan NOS ke dalam pembelajaran sains untuk meningkatkan literasi sains. Temuan dari kajian ini diharapkan dapat memberikan landasan konseptual yang kuat untuk pengembangan kurikulum dan praktik pembelajaran sains yang secara eksplisit mengintegrasikan NOS sebagai sarana untuk meningkatkan literasi sains peserta didik.

## METODE

Penelitian ini menggunakan metode library research atau penelitian kepustakaan dengan pendekatan analisis konten kualitatif. Metode ini dipilih untuk memungkinkan kajian yang mendalam dan komprehensif terhadap literatur yang relevan dengan peran Nature of Science dalam pengembangan literasi sains. Sumber data primer dalam penelitian ini meliputi artikel-artikel jurnal ilmiah bereputasi (terindeks Scopus, Web of Science, dan SINTA untuk publikasi nasional), buku referensi, prosiding konferensi internasional, serta dokumen kebijakan pendidikan yang diterbitkan dalam rentang waktu 2010-2024. Pencarian literatur dilakukan secara sistematis menggunakan basis data elektronik seperti ERIC, *Science Direct*, Springer Link, dan Google Scholar dengan kata kunci: “*Nature of Science*”, “*scientific literacy*”, “*NOS and science education*”, “*epistemological beliefs in science*”, “*science teaching and learning*”, dan kombinasinya, baik dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris.

Proses analisis data dilakukan melalui beberapa tahapan: (1) identifikasi dan seleksi literatur berdasarkan kriteria relevansi dan kualitas, (2) pengkodean dan kategorisasi konten berdasarkan tema-tema yang muncul terkait hubungan NOS dan literasi sains, (3) analisis komparatif berbagai perspektif dan temuan penelitian, dan (4) sintesis untuk menghasilkan kerangka konseptual yang komprehensif tentang peran NOS dalam pengembangan literasi sains. Untuk memastikan keabsahan data, peneliti menerapkan teknik triangulasi sumber dengan membandingkan berbagai perspektif dari penelitian-penelitian yang berbeda konteks dan pendekatan metodologisnya. Selain itu, proses peer debriefing dengan melibatkan ahli pendidikan sains dilakukan untuk

mengonfirmasi kesesuaian interpretasi dan kesimpulan yang diambil dari analisis literatur.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **A. Hakikat NOS dan Kaitannya dengan Epistemologi Sains**

*Nature of Science* (NOS) merupakan domain pengetahuan yang mencerminkan sifat pengetahuan ilmiah dan proses bagaimana pengetahuan tersebut dikembangkan. Konsep ini berakar dari kajian epistemologi sebagai cabang filsafat yang mempelajari asal usul, sifat, metode, dan batasan pengetahuan manusia. Dalam konteks pendidikan sains, NOS merujuk pada pemahaman tentang karakteristik pengetahuan ilmiah dan bagaimana pengetahuan tersebut dikonstruksi dan divalidasi dalam komunitas ilmiah. Abd-El-Khalick menggarisbawahi bahwa pemahaman NOS bukan sekadar pengetahuan tentang metode ilmiah, melainkan mencakup dimensi yang lebih luas tentang bagaimana aktivitas ilmiah berlangsung sebagai upaya manusia untuk memahami fenomena alam (Abd-El-Khalick, F., 2013).

Literatur kontemporer tentang NOS umumnya mengidentifikasi beberapa aspek konsensus yang dipandang penting untuk dipahami oleh peserta didik. Duschl et al. mengusulkan tujuh aspek NOS yang dikenal sebagai “konsensus pandangan NOS”, yakni: (1) pengetahuan ilmiah bersifat tentatif (*subject to change*), (2) didasarkan pada atau diturunkan dari observasi terhadap alam (*empirical*), (3) dipengaruhi oleh subjektivitas dan kerangka teoretis (*theory-laden*), (4) melibatkan inferensi, imajinasi, dan kreativitas manusia, (5) terjalin erat dengan aspek sosial dan budaya, (6) dibedakan antara observasi dan inferensi, serta (7) memiliki hubungan kompleks antara teori dan hukum ilmiah (Duschl, R. A., & Grandy, R., 2013). Matthews menambahkan aspek realisme ilmiah, yaitu pandangan bahwa teori ilmiah bertujuan untuk memberikan gambaran yang sedekat mungkin dengan realitas meskipun tidak pernah mencapai kebenaran absolut (Matthews, M. R., 2012).

Pemahaman tentang aspek-aspek NOS ini memiliki kaitan fundamental dengan epistemologi sains, yakni kajian tentang bagaimana pengetahuan ilmiah dibangun dan divalidasi. Duschl dan Grandy menjelaskan bahwa epistemologi sains membahas pertanyaan-pertanyaan seperti “Apa yang membuat suatu klaim menjadi ilmiah?”, “Bagaimana bukti empiris mendukung teori?”, dan “Bagaimana komunitas ilmiah

mencapai konsensus?”. Pemahaman epistemologis ini menjadi krusial dalam pendidikan sains karena membentuk kerangka berpikir peserta didik tentang bagaimana mengevaluasi validitas klaim ilmiah dan membedakannya dari klaim non-ilmiah atau pseudosains.

Erduran dan Dagher mengembangkan pendekatan *Family Resemblance Approach* (FRA) untuk menggambarkan NOS sebagai sistem kompleks yang mencakup aspek metode dan metodologi, tujuan dan nilai, praktik ilmiah, pengetahuan ilmiah, serta dimensi sosial-institusional sains (Erduran, S., & Dagher, Z. R., 2014). Pendekatan ini mengakui keberagaman praktik sains dalam berbagai disiplin ilmu, namun tetap mengidentifikasi karakteristik umum yang membentuk “keluarga” aktivitas ilmiah. FRA menawarkan kerangka konseptual yang lebih holistik untuk memahami NOS dalam konteks pendidikan sains yang dapat mengakomodasi kompleksitas dan keberagaman praktik ilmiah kontemporer.

Studi epistemologi sains kontemporer juga menekankan pentingnya memahami dimensi sosial dalam konstruksi pengetahuan ilmiah. Longino menjelaskan bahwa pengetahuan ilmiah bukanlah sekadar produk individual, melainkan hasil dari proses kritik intersubjektif dalam komunitas ilmiah yang menerapkan norma-norma epistemik tertentu (Longino, H. E., 2016). Pemahaman ini penting untuk mengatasi pandangan naif tentang sains sebagai aktivitas objektif yang bebas nilai dan terlepas dari konteks sosial. Allchin menegaskan bahwa mengajarkan NOS yang autentik perlu mencakup dimensi sosial, budaya, dan politik yang memengaruhi bagaimana pengetahuan ilmiah dibangun, divalidasi, dan diterapkan (Allchin, D., 2011).

Dalam konteks literasi sains, pemahaman epistemologi sains melalui NOS memberikan fondasi untuk membangun pemahaman tentang “sains sebagai cara untuk mengetahui” (*science as a way of knowing*). Osborne et al. berargumen bahwa literasi sains yang autentik memerlukan pemahaman tidak hanya tentang “apa yang kita ketahui” tetapi juga “bagaimana kita mengetahuinya” (Osborne, J., et.al, 2013). Tanpa pemahaman epistemologis ini, peserta didik cenderung melihat sains sebagai kumpulan fakta yang harus dihafal daripada sebagai proses investigasi dan konstruksi pengetahuan yang dinamis, yang pada gilirannya dapat menghambat pengembangan kemampuan berpikir kritis dan evaluatif yang menjadi inti dari literasi sains.

Penelitian empiris menunjukkan adanya hubungan antara kepercayaan epistemologis peserta didik tentang sains dengan pendekatan belajar dan pencapaian mereka dalam pembelajaran sains. Studi oleh Chen menemukan bahwa peserta didik dengan pandangan epistemologis yang lebih sofistikated tentang sains (misalnya, memahami sifat tentatif dan dinamis pengetahuan ilmiah) cenderung mengadopsi pendekatan belajar mendalam dan mencapai hasil belajar yang lebih baik (Chen, S., 2012). Sebaliknya, peserta didik dengan pandangan naif (misalnya, melihat pengetahuan ilmiah sebagai kebenaran absolut) cenderung mengandalkan hafalan dan mengalami kesulitan ketika dihadapkan pada permasalahan yang memerlukan analisis kritis.

Integrasi aspek-aspek NOS dalam pembelajaran sains telah ditunjukkan dapat mengembangkan pemahaman epistemologis peserta didik. Khishfe melaporkan bahwa pembelajaran dengan pendekatan eksplisit-reflektif tentang NOS dapat menggeser pandangan peserta didik dari epistemologi naif menuju pemahaman yang lebih sofistikated tentang sifat pengetahuan ilmiah(Khishfe, R., 2024). Pergeseran ini penting untuk pengembangan literasi sains karena memungkinkan peserta didik memahami bagaimana klaim ilmiah dievaluasi berdasarkan bukti dan bagaimana konsensus ilmiah dicapai melalui diskusi kritis dalam komunitas ilmiah, bukan sekadar menerima otoritas.

Pemahaman epistemologi sains melalui NOS juga memiliki implikasi penting dalam era informasi saat ini, di mana peserta didik dihadapkan pada banjir klaim yang mengatasnamakan sains. Kelly et al. menunjukkan bahwa pemahaman NOS yang kuat dapat membekali peserta didik dengan kerangka evaluatif untuk menilai kredibilitas klaim ilmiah yang mereka temui di media dan kehidupan sehari-hari (Kelly, G. J. Et al., 2012). Kemampuan ini menjadi semakin penting di era post-truth yang ditandai dengan meluasnya misinformasi dan disinformasi ilmiah, terutama di media sosial dan internet.

## B. Implementasi NOS dalam Pengembangan Kemampuan Berpikir Kritis

Integrasi *Nature of Science* (NOS) dalam pembelajaran sains memiliki potensi signifikan untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis peserta didik, yang merupakan komponen esensial dari literasi sains (Bromme, R., & Goldman, S. R. 2014). Berpikir kritis dalam konteks sains melibatkan kemampuan untuk menganalisis, mengevaluasi, dan mensintesis informasi ilmiah serta membuat penilaian berdasarkan bukti dan penalaran yang logis. Pemahaman NOS memberikan kerangka epistemologis

yang diperlukan untuk mengembangkan keterampilan evaluatif ini, terutama dalam menilai validitas klaim ilmiah dan membedakannya dari klaim pseudosains atau non-ilmiah.

Penelitian oleh Khishfe menunjukkan bahwa pembelajaran yang secara eksplisit mengintegrasikan aspek-aspek NOS dapat meningkatkan kemampuan peserta didik dalam mengevaluasi klaim ilmiah yang kontroversial (Khishfe, R., 2012). Dalam studinya, peserta didik yang memahami sifat tentatif dan berbasis bukti dari pengetahuan ilmiah menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mengidentifikasi asumsi yang mendasari klaim, mengevaluasi kekuatan bukti pendukung, dan mengakui adanya interpretasi alternatif terhadap data yang sama. Temuan ini mengonfirmasi argumen teoritis bahwa pemahaman NOS memberikan “lensa epistemik” yang diperlukan untuk menganalisis secara kritis bagaimana pengetahuan dikonstruksi dan divalidasi dalam sains.

Salah satu mekanisme kunci dimana NOS berkontribusi terhadap pengembangan pemikiran kritis adalah dengan memfasilitasi pemahaman tentang peran bukti dalam sains. Sandoval menekankan bahwa memahami bagaimana bukti empiris digunakan untuk mendukung, merevisi, atau membantah klaim ilmiah merupakan aspek fundamental dari epistemologi praktis (*practical epistemology*) yang perlu dikembangkan oleh peserta didik (Sandoval, W. A, 2014). Pembelajaran yang mengeksplorasi bagaimana ilmuwan mengumpulkan, menganalisis, dan menginterpretasi data dalam konteks historis maupun kontemporer dapat membantu peserta didik mengembangkan kriteria evaluatif untuk menilai kekuatan bukti yang mendukung berbagai klaim ilmiah.

Aspek NOS lain yang berkontribusi signifikan terhadap pengembangan pemikiran kritis adalah pemahaman tentang sifat tentatif pengetahuan ilmiah. Klaim yang sering kali digunakan untuk mendiskreditkan sains, seperti “para ilmuwan selalu mengubah pendapat mereka” dapat direkonstruksi sebagai kekuatan fundamental sains melalui pemahaman NOS yang tepat. McComas menjelaskan bahwa mengajarkan sifat tentatif pengetahuan ilmiah membantu peserta didik memahami bahwa revisi teori berdasarkan bukti baru merupakan indikator kekuatan, bukan kelemahan, dari enterprise ilmiah (McComas, W. F., 2017). Pemahaman ini mendorong keterbukaan pikiran dan

kesiapan untuk merevisi keyakinan berdasarkan bukti baru, yang berada disposisi yang esensial untuk pemikiran kritis dalam sains maupun kehidupan sehari-hari.

Penerapan NOS dalam pembelajaran kontroversial sosio-ilmiah (socio-scientific issues/SSI) telah terbukti efektif untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis. Zeidler et al. menemukan bahwa mengintegrasikan pembelajaran NOS ke dalam diskusi SSI seperti perubahan iklim, modifikasi genetik, atau penggunaan vaksin meningkatkan kemampuan peserta didik untuk (1) membedakan antara komponen ilmiah dan non-ilmiah dari kontroversi, (2) mengevaluasi kredibilitas sumber informasi, dan (3) mengidentifikasi nilai-nilai dan asumsi yang mendasari posisi yang berbeda (Zeidler, D. L., & Sadler, T. D., 2011). Kemampuan ini merepresentasikan aspek-aspek penting dari literasi sains dalam konteks sosial.

Model pembelajaran argumentasi ilmiah yang terintegrasi dengan NOS menunjukkan efektivitas dalam mengembangkan pemikiran kritis. Erduran et al. mendemonstrasikan bahwa pembelajaran yang menggabungkan eksplisitasi aspek-aspek NOS dengan praktik argumentasi dapat meningkatkan kualitas argumen yang dikonstruksi oleh peserta didik, yang ditandai dengan meningkatnya penggunaan bukti, pertimbangan terhadap penjelasan alternatif, dan kesadaran tentang keterbatasan klaim (Erduran, S., Ozdem, Y., & Park, J. Y, 2015). Model ini menekankan pembelajaran sains sebagai proses konstruksi pengetahuan yang melibatkan evaluasi kritis terhadap klaim dan bukti, bukan sekadar akumulasi fakta.

Hubungan antara NOS dan pemikiran kritis juga terlihat dalam konteks evaluasi informasi ilmiah di era digital. Penelitian oleh Bromme dan Goldman menunjukkan bahwa peserta didik dengan pemahaman NOS yang baik lebih mampu mengevaluasi kredibilitas informasi ilmiah online berdasarkan kriteria epistemik seperti kualitas bukti, metodologi, dan konsistensi dengan pengetahuan ilmiah yang mapan (Bromme, R., & Goldman, S. R., 2014). Dalam era informasi yang ditandai dengan demokratisasi akses terhadap informasi ilmiah namun juga meluasnya pseudosains dan misinformasi, kemampuan evaluatif ini menjadi komponen krusial dari literasi sains.

Pendekatan pedagogi yang efektif untuk mengintegrasikan NOS dalam pengembangan pemikiran kritis mencakup metode eksplisit-reflektif yang menghubungkan aspek-aspek NOS dengan konteks yang relevan. Clough mengusulkan penggunaan narasi sejarah sains yang direkonstruksi secara heuristik untuk

mengilustrasikan bagaimana pengetahuan ilmiah berkembang melalui proses inkuiiri, pengujian, dan revisi berdasarkan bukti baru (Clough, M. P., 2018). Pendekatan ini memungkinkan peserta didik melihat sains sebagai proses dinamis dan memahami faktor-faktor epistemik yang membedakan klaim ilmiah dari non-ilmiah, sekaligus mengembangkan disposisi kritis terhadap klaim yang mengatasnamakan sains.

Penggunaan aktivitas “*science in the making*” yang memfasilitasi peserta didik mengalami secara langsung bagaimana pengetahuan ilmiah dikonstruksi juga efektif untuk mengembangkan pemikiran kritis. Ford menjelaskan bahwa ketika peserta didik terlibat dalam proses konstruksi dan kritik pengetahuan dalam komunitas kelas, mereka mengembangkan praktik kritik (*critical practice*) yang melibatkan evaluasi klaim berdasarkan bukti dan penalaran (Zeidler, D. L., & Sadler, T. D., 2011). Praktik ini paralel dengan praktik epistemik dalam komunitas ilmiah dan memfasilitasi pengembangan “*sense of mechanism*”, yaitu pemahaman tentang bagaimana dan mengapa sesuatu terjadi, bukan sekadar mengetahui bahwa sesuatu terjadi.

Studi implementasi pembelajaran NOS untuk mengembangkan pemikiran kritis menunjukkan bahwa pendekatan ini tidak hanya meningkatkan kemampuan kognitif tetapi juga disposisi untuk berpikir kritis. Allchin menekankan pentingnya mengembangkan apa yang ia sebut sebagai “kemampuan untuk menilai kredibilitas secara bertanggung jawab” (*responsible judgment of credibility*), yang melibatkan tidak hanya keterampilan analitis tetapi juga disposisi seperti keterbukaan pikiran, kehatihan dalam mengambil kesimpulan, dan kesediaan untuk merevisi pandangan berdasarkan bukti baru (Allchin, D., 2012). Disposisi ini merupakan manifestasi dari pemahaman epistemologis yang dikembangkan melalui pembelajaran NOS.

Meskipun bukti empiris mendukung efektivitas integrasi NOS dalam pengembangan pemikiran kritis, implementasinya dalam praktik pendidikan sains masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah gap antara pemahaman teoretis guru tentang NOS dan kemampuan mereka untuk menterjemahkannya ke dalam praktik pembelajaran yang efektif. Capps dan Crawford menemukan bahwa banyak guru sains, meskipun memiliki pemahaman NOS yang baik, mengalami kesulitan dalam mengintegrasikannya secara eksplisit dalam pembelajaran sains regular (Capps, D. K., & Crawford, B. A., 2013). Hal ini menunjukkan perlunya pengembangan profesional yang tidak hanya berfokus pada konten NOS tetapi juga

strategi pedagogis untuk mengintegrasikannya dalam pembelajaran yang berorientasi pada pengembangan pemikiran kritis.

### C. Kontribusi NOS dalam Pengambilan Keputusan Berbasis Sains

Salah satu manifestasi tertinggi dari literasi sains adalah kemampuan untuk mengaplikasikan pemahaman sains dalam pengambilan keputusan pada konteks personal dan sosial. *Nature of Science* (NOS) memiliki kontribusi signifikan dalam mengembangkan kompetensi ini dengan memberikan kerangka epistemologis yang memungkinkan peserta didik mengevaluasi klaim ilmiah dalam konteks permasalahan kompleks di masyarakat. Pengambilan keputusan berbasis sains (*scientific decision-making*) mencakup kemampuan untuk mengidentifikasi komponen ilmiah dari suatu isu, mengevaluasi bukti yang relevan, mempertimbangkan perspektif alternatif, dan mengintegrasikan pertimbangan nilai dengan pemahaman ilmiah, yakni kompetensi yang semuanya dilandasi oleh pemahaman NOS yang adekuat.

Zeidler dan Sadler menjelaskan bahwa konteks socio-scientific issues (SSI)—isu-isu sosial yang memiliki dimensi ilmiah seperti perubahan iklim, teknologi genetika, atau kesehatan masyarakat, yang menyediakan platform yang ideal untuk mengembangkan kompetensi pengambilan keputusan berbasis sains (Zeidler, D. L., & Sadler, T. D., 2011). Dalam konteks ini, pemahaman NOS berperan krusial dalam membantu peserta didik membedakan antara klaim yang didukung bukti ilmiah yang kuat dan yang tidak, serta memahami keterbatasan pengetahuan ilmiah dalam menjawab pertanyaan-pertanyaan nilai. Studi oleh Eastwood et al. menunjukkan bahwa peserta didik dengan pemahaman NOS yang lebih canggih mampu mengidentifikasi asumsi yang mendasari klaim ilmiah yang bertentangan dalam konteks kontroversi sosio-ilmiah dan lebih mampu mengintegrasikan pertimbangan ilmiah dengan nilai-nilai moral dan sosial dalam pengambilan keputusan (Eastwood, J. L., et al, 2012).

Pemahaman tentang sifat tentatif namun dapat diandalkan (*tentative yet reliable*) dari pengetahuan ilmiah merupakan aspek NOS yang berkontribusi signifikan terhadap pengambilan keputusan dalam konteks ketidakpastian. Kolstø menjelaskan bahwa banyak isu sosio-ilmiah kontemporer melibatkan unsur ketidakpastian ilmiah, baik karena kompleksitas fenomena, keterbatasan metodologi, atau karena penelitian masih berkembang (Kolstø, S. D., 2010). Dalam situasi ini, pemahaman NOS membantu

peserta didik menyadari bahwa ketidakpastian merupakan fitur normal dari pengetahuan ilmiah frontier, bukan indikasi “kegagalan” sains. Pemahaman ini memfasilitasi pendekatan yang lebih nuanced terhadap pengambilan keputusan, di mana risiko dan ketidakpastian dipertimbangkan secara eksplisit, bukan diabaikan atau dijadikan alasan untuk mengabaikan bukti ilmiah sama sekali.

Aspek NOS lain yang berkontribusi terhadap pengambilan keputusan adalah pemahaman tentang perbedaan antara observasi dan inferensi serta peran kreativitas dan subjektivitas dalam sains. Allchin menekankan bahwa memahami dimensi inferensial dari sains membantu peserta didik menyadari bahwa bukti ilmiah seringkali tidak “berbicara dengan sendirinya” melainkan perlu diinterpretasi dalam kerangka teori tertentu (Rudolph, J. L., 2007). Pemahaman ini penting dalam konteks pengambilan keputusan berbasis sains karena memungkinkan peserta didik untuk mengevaluasi secara kritis bagaimana data yang sama dapat menghasilkan kesimpulan berbeda berdasarkan asumsi dan kerangka teoretis yang berbeda, serta mengenali keterbatasan kesimpulan yang dapat ditarik dari bukti tertentu.

Studi tentang pengambilan keputusan dalam konteks kontroversi vaksinasi oleh Lawson menunjukkan bahwa peserta didik yang memahami aspek sosial dan kultural NOS lebih mampu mengidentifikasi bagaimana faktor-faktor non-ilmiah seperti nilai, kepercayaan, dan konteks sosial memengaruhi interpretasi dan penerimaan bukti ilmiah dalam masyarakat (Lawson, M. A., 2017). Kesadaran ini membantu mereka memahami kompleksitas perdebatan publik tentang isu-isu ilmiah dan mengembangkan pendekatan yang lebih empatis namun tetap kritis terhadap perspektif yang berbeda. Dalam konteks pengambilan keputusan personal maupun partisipasi dalam diskusi publik, kompetensi ini sangat berharga untuk membangun jembatan dialog antara perspektif yang berbeda.

Dimensi NOS yang berkaitan dengan metode dan proses ilmiah juga memiliki kontribusi penting dalam pengambilan keputusan berbasis sains. Rudolph berargumen bahwa pemahaman tentang keberagaman metode dalam sains dan kriteria evaluasi bukti di berbagai bidang ilmiah membantu peserta didik mengevaluasi klaim ilmiah berdasarkan standar yang sesuai dengan bidang tersebut (Höttinge, D., & Allchin, D., 2020). Misalnya, bukti dalam epidemiologi memiliki karakteristik berbeda dengan bukti dalam fisika partikel, dan memahami perbedaan ini penting untuk mengevaluasi kekuatan klaim di bidang kesehatan masyarakat versus fisika. Pemahaman ini mencegah

aplikasi kriteria evaluasi yang tidak tepat dan memfasilitasi penilaian yang lebih akurat terhadap bukti ilmiah dalam konteks pengambilan keputusan.

Pembelajaran berbasis konteks autentik yang mengintegrasikan NOS telah terbukti efektif dalam mengembangkan kompetensi pengambilan keputusan berbasis sains. Khishfe mengimplementasikan model pembelajaran yang mengintegrasikan aspek-aspek NOS ke dalam pembahasan isu-isu kontroversial seperti pemanasan global dan modifikasi genetik (Khishfe, R., 2012). Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan dalam kemampuan peserta didik untuk mengevaluasi klaim ilmiah yang bertentangan, mengidentifikasi bukti yang relevan, dan mengembangkan argumen yang mengintegrasikan pertimbangan ilmiah dengan nilai-nilai sosial. Model pembelajaran ini menekankan refleksi eksplisit tentang bagaimana aspek-aspek NOS seperti tentativeness, empirisme, dan dimensi sosial sains terejawantah dalam kontroversi sosio-ilmiah kontemporer.

Dalam era post-truth yang ditandai dengan meluasnya misinformasi ilmiah dan polarisasi opini tentang isu-isu ilmiah, kontribusi NOS terhadap pengambilan keputusan berbasis sains menjadi semakin signifikan. Höttecke dan Allchin mengusulkan framework “*critical science media literacy*” yang mengintegrasikan pemahaman NOS dengan kompetensi literasi media untuk membekali peserta didik mengevaluasi klaim ilmiah di media massa dan sosial (Höttecke, D., & Allchin, D, 2020). Framework ini menekankan kemampuan untuk mengidentifikasi sumber informasi yang kredibel, mengevaluasi klaim berdasarkan bukti pendukung, dan memahami bagaimana representasi sains di media dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor sosial, ekonomi, dan politik. Dalam konteks pengambilan keputusan berbasis sains, kompetensi ini esensial untuk navigasi lanskap informasi yang kompleks dan sering kali membingungkan.

Model pedagogis yang efektif untuk mengintegrasikan NOS dalam pengembangan kemampuan pengambilan keputusan berbasis sains mencakup pendekatan berorientasi inkuiri yang diperkaya dengan refleksi eksplisit. Lederman et al. menekankan bahwa pembelajaran inkuiri tanpa refleksi eksplisit tentang aspek-aspek NOS cenderung tidak efektif dalam mengembangkan pemahaman NOS (Lederman, N. G., & Lederman, J. S., 2014). Sebaliknya, pembelajaran yang mengkombinasikan pengalaman inkuiri dengan diskusi reflektif tentang bagaimana aktivitas tersebut merepresentasikan karakteristik pengetahuan dan proses ilmiah telah terbukti lebih

efektif. Pendekatan ini memungkinkan peserta didik tidak hanya “melakukan sains” tetapi juga membangun pemahaman meta-kognitif tentang sifat aktivitas ilmiah yang dapat mereka terapkan dalam konteks pengambilan keputusan.

Pentingnya konteks dalam pembelajaran NOS untuk pengambilan keputusan juga ditekankan dalam literatur terkini. Allchin mengusulkan pendekatan “*Whole Science*” yang menggambarkan sains sebagai sistem sosial-kognitif kompleks dan mengintegrasikan aspek-aspek NOS ke dalam studi kasus kontemporer atau historis (Allchin, D., 2014). Pendekatan ini memungkinkan peserta didik memahami bagaimana berbagai aspek NOS seperti peran bukti, peer review, komunikasi ilmiah, dan interaksi ilmu-masyarakat yaitu berinteraksi dalam konteks riil. Pemahaman holistik ini lebih aplikatif dalam konteks pengambilan keputusan berbasis sains dibandingkan pemahaman fragmentaris tentang aspek-aspek NOS yang terpisah dari konteksnya.

Implementasi pembelajaran yang mengintegrasikan NOS untuk pengembangan kompetensi pengambilan keputusan berbasis sains masih menghadapi berbagai tantangan. Salah satu tantangan utama adalah kebutuhan akan pengembangan profesional guru yang komprehensif. Capkinoglu et al. menemukan bahwa banyak guru, meskipun memahami pentingnya NOS dan pengambilan keputusan berbasis sains, masih kesulitan mengintegrasikan keduanya dalam pembelajaran sehari-hari karena keterbatasan pemahaman konten, keterampilan pedagogis, atau sumber daya pembelajaran yang relevan (Capkinoglu, et al, 2020). Tantangan lain adalah tekanan untuk memenuhi tuntutan kurikulum yang padat dan terfokus pada konten, yang seringkali menyebabkan

## KESIMPULAN

Berdasarkan kajian literatur komprehensif yang telah dilakukan, penelitian ini mengkonfirmasi bahwa Nature of Science (NOS) memiliki peran fundamental dalam pengembangan literasi sains peserta didik. Pemahaman NOS memberikan fondasi epistemologis yang memungkinkan peserta didik tidak hanya memahami konten sains tetapi juga bagaimana pengetahuan ilmiah dikonstruksi, divalidasi, dan berkembang dalam komunitas ilmiah. Kontribusi NOS terhadap literasi sains terejawantah dalam tiga dimensi utama yang saling berkaitan.

Pertama, NOS memberikan kerangka epistemologis yang esensial untuk membangun pemahaman mendalam tentang sains sebagai cara memperoleh pengetahuan (*way of knowing*). Pemahaman aspek-aspek NOS seperti sifat tentatif namun dapat diandalkan dari pengetahuan ilmiah, peran bukti empiris, dan dimensi sosial-kultural sains memungkinkan peserta didik mengembangkan pandangan yang lebih autentik tentang aktivitas ilmiah sebagai upaya manusia yang dinamis dan kontekstual, bukan sekadar akumulasi fakta absolut. Fondasi epistemologis ini menjadi landasan untuk mengembangkan dimensi literasi sains lainnya termasuk kemampuan berpikir kritis dan pengambilan keputusan.

Kedua, integrasi NOS dalam pembelajaran sains berkontribusi signifikan terhadap pengembangan kemampuan berpikir kritis terhadap klaim ilmiah. Pemahaman tentang bagaimana bukti digunakan untuk mendukung, merevisi, atau membantah klaim dalam sains, serta kemampuan membedakan antara observasi dan inferensi, memberikan “lensa epistemik” yang memungkinkan peserta didik mengevaluasi klaim ilmiah yang mereka temui di media dan kehidupan sehari-hari. Dalam era informasi yang ditandai dengan demokratisasi akses terhadap informasi namun juga meluasnya misinformasi, kemampuan evaluatif ini menjadi komponen esensial dari literasi sains.

Ketiga, NOS memiliki kontribusi krusial dalam mengembangkan kompetensi pengambilan keputusan berbasis sains dalam konteks personal dan sosial. Pemahaman dimensi sosial-kultural sains, keterbatasan pengetahuan ilmiah, serta interaksi kompleks antara sains dan masyarakat membekali peserta didik untuk menavigasi isu-isu sosio-ilmiah kontemporer dengan lebih kompeten. Kemampuan untuk mengintegrasikan pertimbangan ilmiah dengan nilai-nilai sosial dan personal dalam pengambilan keputusan merepresentasikan manifestasi tertinggi dari literasi sains sebagai kompetensi untuk hidup dalam masyarakat berbasis pengetahuan.

## DAFTAR RUJUKAN

- Abd-El-Khalick, F. "Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains." *Science & Education* 22, no. 9 (2013): 2087-2107.
- Abd-El-Khalick, F., & Akerson, V. "The influence of metacognitive training on preservice elementary teachers' conceptions of nature of science." *International Journal of Science Education* 31, no. 16 (2009): 2161-2184.
- Allchin, D. "Evaluating knowledge of the nature of (whole) science." *Science Education* 95, no. 3 (2011): 518-542.

- Allchin, D. "The Minnesota case study collection: New historical inquiry case studies for nature of science education." *Science & Education* 21, no. 9 (2012): 1263-1281.
- Allchin, D. "From science studies to scientific literacy: A view from the classroom." *Science & Education* 23, no. 9 (2014): 1911-1932.
- Bromme, R., & Goldman, S. R. "The public's bounded understanding of science." *Educational Psychologist* 49, no. 2 (2014): 59-69.
- Capkinoglu, E., Yilmaz, S., & Leblebicioglu, G. "Quality of argumentation by seventh-graders in local socioscientific issues." *Journal of Research in Science Teaching* 57, no. 6 (2020): 827-855.
- Capps, D. K., & Crawford, B. A. "Inquiry-based instruction and teaching about nature of science: Are they happening?" *Journal of Science Teacher Education* 24, no. 3 (2013): 497-526.
- Chen, S. "Relations between epistemological beliefs and science achievement: Students' perspectives." *International Journal of Science and Mathematics Education* 10, no. 3 (2012): 551-573.
- Clough, M. P. "Teaching and learning about the nature of science." *Science & Education* 27, no. 1-2 (2018): 1-5.
- Duschl, R. A., & Grandy, R. "Two views about explicitly teaching nature of science." *Science & Education* 22, no. 9 (2013): 2109-2139.
- Eastwood, J. L., Sadler, T. D., Zeidler, D. L., Lewis, A., Amiri, L., & Applebaum, S. "Contextualizing nature of science instruction in socioscientific issues." *International Journal of Science Education* 34, no. 15 (2012): 2289-2315.
- Erduran, S., & Dagher, Z. R. *Reconceptualizing the nature of science for science education: Scientific knowledge, practices and other family categories*. Dordrecht: Springer, 2014.
- Erduran, S., Ozdem, Y., & Park, J. Y. "Research trends on argumentation in science education: A journal content analysis from 1998–2014." *International Journal of STEM Education* 2, no. 1 (2015): 1-12.
- Ford, M. "'Grasp of practice' as a reasoning resource for inquiry and nature of science understanding." *Science & Education* 17, no. 2-3 (2008): 147-177.
- Hötteleke, D., & Allchin, D. "Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media." *Science Education* 104, no. 4 (2020): 641-666.
- Kelly, G. J., McDonald, S., & Wickman, P. O. "Science learning and epistemology." In *Second international handbook of science education*, edited by B. J. Fraser, K. G. Tobin, & C. J. McRobbie, 281-291. Dordrecht: Springer, 2012.
- Khishfe, R. "Nature of science and decision-making." *International Journal of Science Education* 34, no. 1 (2012): 67-100.
- Khishfe, R. "Transfer of nature of science understandings into similar contexts: Promises and possibilities of an explicit reflective approach." *International Journal of Science Education* 35, no. 17 (2013): 2928-2953.
- Khishfe, R. "Explicit nature of science and argumentation instruction in the context of socioscientific issues: An effect on student learning and transfer." *International Journal of Science Education* 36, no. 6 (2014): 974-1016.
- Kolstø, S. D. "Consensus projects: Teaching science for citizenship." *International Journal of Science Education* 22, no. 6 (2010): 645-664.

- Lawson, M. A. "Exploring the role of nature of science understandings in decision-making about socio-scientific issues among college students." Doctoral Dissertation, University of Delaware, 2017.
- Lederman, N. G., & Lederman, J. S. "Research on teaching and learning of nature of science." In *Handbook of research on science education*, Vol. 2, edited by N. G. Lederman & S. K. Abell, 600-620. New York: Routledge, 2014.
- Lederman, N. G., Antink, A., & Bartos, S. "Nature of science, scientific inquiry, and socio-scientific issues arising from genetics: A pathway to developing a scientifically literate citizenry." *Science & Education* 23, no. 2 (2014): 285-302.
- Lederman, N. G., Lederman, J. S., & Antink, A. "Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy." *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology* 1, no. 3 (2013): 138-147.
- Longino, H. E. "The social dimensions of scientific knowledge." In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, edited by E. N. Zalta. Retrieved from <https://plato.stanford.edu/archives/spr2016/entries/scientific-knowledge-social/>, 2016.
- Matthews, M. R. "Changing the focus: From nature of science to features of science." In *Advances in nature of science research*, edited by M. S. Khine, 3-26. Dordrecht: Springer, 2012.
- McComas, W. F. "Understanding how science works: The nature of science as the foundation for science teaching and learning." *School Science Review* 98, no. 365 (2017): 71-76.
- Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R., & Duschl, R. "What 'ideas-about-science' should be taught in school science? A Delphi study of the expert community." *Journal of Research in Science Teaching* 40, no. 7 (2013): 692-720.
- Roberts, D. A. "Scientific literacy/science literacy." In *Handbook of research on science education*, edited by S. K. Abell & N. G. Lederman, 729-780. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2007.
- Rudolph, J. L. "An inconvenient truth about science education." *Teachers College Record* 109, no. 6 (2007): 1361-1376.
- Sadler, T. D., Chambers, F. W., & Zeidler, D. L. "Student conceptualizations of the nature of science in response to a socioscientific issue." *International Journal of Science Education* 26, no. 4 (2010): 387-409.
- Sandoval, W. A. "Science education's need for a theory of epistemological development." *Science Education* 98, no. 3 (2014): 383-387.
- Zeidler, D. L., & Sadler, T. D. "An inclusive view of scientific literacy: Core issues and future directions." In *Exploring the landscape of scientific literacy*, edited by C. Linder, L. Östman, D. A. Roberts, P. Wickman, G. Erickson, & A. MacKinnon, 176-192. New York: Routledge, 2011.
- Zeidler, D. L., Herman, B. C., & Sadler, T. D. "New directions in socioscientific issues research." *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research* 1, no. 1 (2019): 1-9.