

SCIENTIFIC CONCEPTS AND GENERIC SCIENCE SKILLS RELATIONSHIP IN THE 21st CENTURY SCIENCE EDUCATION

Liliasari
Science Education Program Graduate School
Indonesia University of Education

Abstract

Most of Indonesian science teaching force students to recall many scientific concepts. Rote learning never helps students learn science properly. A new paradigm of learning science should be providing students with an array of experiences that enable understanding and then guiding students toward understanding and use of science knowledge. To enhance science teaching in Indonesia there should be an effort to develop generic science skills through learning science, that increase students thinking to higher order thinking skills. The problem is what are generic science skills and scientific concepts relationship that make science teaching easily defined. By a descriptive research it has been found the same kinds of generic science skills such as direct and indirect observation, symbolic language, logical inference, mathematical modeling, and concept formation, can be learned through physics, biology and chemistry. Instead consistency logical frame and causal law are specific to physics and chemistry, but sense of scale is specific to biology. In the other hand it has been found that all kinds of scientific concepts develop many generic science skills make students develop their higher order thinking skills; except concrete concept only develops direct observation. It has been suggested to develop generic science skills to enhance learning science quality.

Key words: scientific concepts, generic science skills, science education

Latar Belakang

Dalam pembelajaran sains pada umumnya di Indonesia, siswa dituntut lebih banyak untuk mempelajari konsep-konsep dan prinsip-prinsip sains secara verbalistis. Cara pembelajaran seperti itu menyebabkan siswa pada umumnya hanya mengenal banyak peristilahan sains secara hafalan tanpa makna. Dipihak lain banyaknya konsep-konsep dan prinsip-prinsip sains yang perlu dipelajari siswa, menyebabkan munculnya kejenuhan siswa belajar sains secara hafalan. Dengan demikian belajar sains hanya diartikan sebagai pengenalan sejumlah konsep-konsep dan peristilahan dalam bidang sains saja.

Untuk dapat memenangkan persaingan global sebagai tantangan abad ke-21 yang harus dihadapi setiap orang, diperlukan kemampuan berpikir tingkat tinggi. Tantangan ini dapat dihadapi melalui paradigma baru belajar sains, yaitu memberikan sejumlah

pengalaman kepada siswa untuk mengerti dan membimbing mereka untuk menggunakan pengetahuan sains tersebut (Gallagher, 2007). Hal ini menyebabkan pembelajaran sains di Indonesia perlu diubah modusnya agar dapat membekali setiap siswa dengan keterampilan berpikir, dari mempelajari sains menjadi berpikir melalui sains. Dengan demikian sebagai hasil belajar sains diharapkan siswa memiliki kemampuan berpikir dan bertindak berdasarkan pengetahuan sains yang dimilikinya, atau lebih dikenal sebagai *keterampilan generik sains*.

Berdasarkan cara pembelajaran sains lama yang menitikberatkan pada pengenalan konsep-konsep sains saja, maka permasalahan yang muncul adalah: “Bagaimana hubungan antara konsep-konsep sains dan keterampilan generik sains?”

Sains sebagai Wahana Pengembangan Berpikir

Kerangka berpikir sains adalah bahwa: (1) di alam ada pola yang konsisten dan berlaku universal; (2) sains merupakan proses memperoleh pengetahuan untuk menjelaskan fenomena; (3) sains selalu berubah dan bukan kebenaran akhir; (4) sains hanyalah pendekatan terhadap yang “mutlak” karena itu tidak bersifat “bebas nilai” dan (5) sains bersifat terbatas, sehingga tidak dapat menentukan baik atau buruk.(Rutherford and Ahlgren, 1990)

Sains berasal dari *natural science* atau *science* saja, biasanya disebut Ilmu Pengetahuan Alam merupakan sekumpulan ilmu-ilmu serumpun yang terdiri atas Biologi, Fisika, Kimia, Geologi, dan Astronomi yang berupaya menjelaskan setiap fenomena yang terjadi di alam. Mengingat bidang kajiannya berbeda, tentu saja terminologi yang digunakan oleh setiap disiplin ilmu tersebut juga berbeda.

Sains sesungguhnya tidak terpecah-pecah meskipun ada disiplin-disiplin tersebut, karena ada sejumlah pemikiran yang “menembus” antar disiplin Sains yang disebut *tema umum*, yaitu sistem, model, kekekalan, pola perubahan, skala dan evolusi.(Rutherford and Ahlgren, 1990). Uraian dari tema-tema tersebut adalah sebagai berikut:

- (1) **Sistem** terbentuk apabila ada sekumpulan benda yang berhubungan satu dengan yang lain dan dalam hubungannya setiap komponen dengan fungsinya masing-

masing berupaya membentuk satu kesatuan. Sistem dapat dibentuk dari beberapa sub-sistem.

- (2) **Model** merupakan tiruan yang lebih sederhana dari fenomena yang sesungguhnya dipelajari, yang diharapkan dapat menolong kita untuk memahaminya secara lebih baik. Model ini dapat berupa model fisis, model matematis, atau model konseptual.
- (3) **Kekekalan** merupakan bagian yang tidak berubah yang ditemukan dalam semua perubahan. Misalnya pada akhir dari banyak sistem fisis yang melibatkan energi, selalu akan menuju kondisi kesetimbangan. Pada reaksi kimia ada bagian yang tidak berubah yaitu massa zat.
- (4) **Pola perubahan** tertentu ditemukan pada setiap perubahan. Dalam alam ada tiga jenis perubahan yaitu: (1) perubahan yang cenderung berpola tetap; (2) perubahan yang berlangsung dalam siklus; dan (3) perubahan yang tak teratur. Perubahan yang berpola tetap misalnya peluruhan radioaktif. Terjadinya hujan menggambarkan suatu perubahan yang berpola siklus. Mengembangnya alam semesta menggambarkan perubahan yang tak teratur.
- (5) **Skala** besaran dalam alam semesta bervariasi, misalnya ukuran, tenggang waktu, kecepatan. Banyak ukuran-ukuran dalam alam yang besarnya tidak sesuai dengan pengalaman siswa dalam kehidupan sehari-hari, seperti kecepatan cahaya, jarak bintang terdekat, jumlah bintang di galaksi, umur matahari, yang ukurannya jauh lebih besar dari pada yang dapat dijelaskan secara intuisi. Sebaliknya kecilnya ukuran atom, jumlahnya yang sangat banyak dalam materi, cepatnya interaksi antar atom juga jauh dari jangkauan pengetahuan sehari-hari siswa. Melalui ukuran-ukuran yang tidak biasa ini sains ingin menitikkan kemampuan untuk memperkirakan ukuran (*sense of scale*) bagi siswa yang mempelajarinya, sehingga dapat membayangkan perkiraan ukuran benda, jarak, kecepatan, yang dipelajarinya itu secara tepat.
- (6) **Evolusi** merupakan perubahan yang sangat lambat. Segala sesuatu di bumi selalu berubah setiap saat secara perlahan-lahan. Segala sesuatu yang sekarang ada dianggap berasal dari yang ada pada masa lalu dan telah mengalami perubahan secara perlahan-lahan. Suatu evolusi tak dapat berlangsung dalam keadaan terisolasi, karena segala sesuatu akan mempengaruhi keadaan sekelilingnya untuk berubah pula, seleksi alam akan menyebabkan makhluk hidup berevolusi.

Melalui keenam tema ini sains dipersatukan dalam pola pemikiran, sehingga meskipun berbeda bidang kajiannya, sains selalu menjadi wahana pengembangan berpikir yang sama bagi mereka yang mempelajarinya. Apabila guru sains hanya menguasai terminologi sains secara hafalan, maka hakekat berpikir sains tidak dimilikinya.

Keterampilan Generik Sains Sebagai Berpikir Tingkat Tinggi

Belajar sains sarat akan kegiatan berpikir yang dikembangkan melalui 8 macam keterampilan generik sains (Brotosiswoyo, 2000), yang meliputi: (1) pengamatan langsung dan tak langsung; (2) kesadaran tentang skala besaran (*sense of scale*); (3) bahasa simbolik; (4) kerangka logika taat-asas (*logical self-consistency*) dari hukum alam; (5) inferensi logika; (6) hukum sebab-akibat (*causality*); (7) pemodelan matematik; dan (8) membangun konsep.

Sains yang mempelajari fenomena alam dapat dikembangkan melalui **pengamatan langsung** untuk mencari hubungan sebab-akibat dari apa yang diamati tersebut. Keterbatasan alat indera manusia dalam melakukan pengamatan perlu dibantu dengan berbagai peralatan, misalnya mikroskop untuk mengamati objek yang sangat kecil, teropong untuk mengamati objek yang sangat besar seperti jagad raya, detektor untuk gelombang ultrasonik dan infrasonik, amperemeter untuk mengukur kuat arus, indikator untuk mengenal zat yang beracun bila dicicipi langsung oleh manusia, dan masih banyak alat bantu lain yang digunakan untuk menolong manusia mengamati. Pengamatan menggunakan alat bantu ini merupakan **pengamatan tak langsung**.

Dalam alam banyak ukuran yang tak sesuai dengan ukuran benda yang ditemukan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya jagad raya sangat besar, elektron sangat kecil, umur jagad raya mencapai milyaran tahun, rekombinasi elektron-positron hanya berlangsung dalam waktu $1/30$ detik, satu mol zat mengandung $6,02 \times 10^{23}$ partikel. Untuk mempelajari hal tersebut maka perlu **kesadaran tentang skala besaran**.

Agar terjadi komunikasi dalam disiplin-disiplin sains dalam mempelajari gejala alam perlu adanya **bahasa simbolik** misalnya lambang unsur, arah panah yang menunjukkan persamaan reaksi searah atau kesetimbangan, tanda kurung persegi untuk menyatakan konsentrasi, dan banyak bahasa simbolik lainnya.

Pada pengamatan gejala alam dalam waktu yang panjang akan ditemukan sejumlah hukum-hukum, namun akan ditemukan “keganjilan” secara logika. Untuk menjawab hal tersebut perlu digunakan kerangka **logika taat-asas** dengan menemukan suatu teori baru. Misalnya keganjilan antara hukum mekanika Newton dan elektrodinamika Maxwell dibuat taat-asas dengan lahirnya teori relativitas Einstein.

Dalam sains banyak fakta yang tak dapat diamati langsung namun dapat ditemukan melalui **inferensi logika** dari konsekuensi-konsekuensi logis pemikiran dalam sains. Misalnya suhu nol Kelvin sampai saat ini belum dapat direalisasikan keberadaannya, tetapi diyakini bahwa itu benar.

Salah satu ciri sains adalah bertolak dari **hukum sebab-akibat**. Misalnya ikan salmon yang lahir di air tawar dan setelah dewasa hidup di lautan, tetapi pada masa tuanya selalu kembali ke air tawar untuk bertelur dan kemudian mati di sana. Penjelasan dari gejala ini dapat dicari orang melalui sains berdasarkan hukum sebab-akibat tersebut.

Untuk menjelaskan banyak hubungan dari gejala alam yang diamati diperlukan bantuan **pemodelan matematik**. Melalui pemodelan tersebut diharapkan dapat diprediksikan dengan tepay bagaimana kecenderungan hubungan ataupun perubahan dari sederetan fenomena alam.

Tidak semua gejala alam dapat dipahami dengan bahasa sehari-hari, karena itu diperlukan bahasa dengan terminologi khusus, yang dikenal sebagai konsep. Konsep-konsep yang dibangun perlu diuji keterterapannya untuk mengembangkan lebih lanjut. Proses ini disebut sebagai **membangun konsep** dalam sains.

Berpikir sains pada umumnya termasuk berpikir tingkat tinggi, mulai dari pengamatan tak langsung, kesadaran akan skala besaran, hukum sebab-akibat, bahasa simbolik, kerangka logika taat-asas dari hukum alam, inferensi logika, pemodelan matematik dan membangun konsep. Berdasarkan uraian tersebut sangatlah nyata bahwa belajar sains identik dengan membangun keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui sains.

Berpikir merupakan proses kognitif untuk memperoleh pengetahuan. Keterampilan berpikir selalu berkembang dan dapat dipelajari (Nickerson, 1985). Berdasarkan prosesnya berpikir dapat dikelompokkan dalam berpikir dasar dan berpikir kompleks. Proses berpikir kompleks yang disebut berpikir tingkat tinggi meliputi pemecahan masalah, pengambilan keputusan, berpikir kritis dan berpikir kreatif (Costa, 1985).

Melalui delapan macam keterampilan generik sains orang dapat mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Berpikir kritis banyak dikembangkan apabila seseorang melakukan pengamatan langsung dan tak langsung, menyadari akan skala besaran, membuat pemodelan matematik, dan membangun konsep. Berpikir kreatif diterapkan ketika seseorang merumuskan bahasa simbolik, inferensi logika, dan menemukan kerangka logika taat-atas dari hukum alam. Berpikir pemecahan masalah diterapkan apabila seseorang sedang menyelidiki berlakunya hukum sebab-akibat pada sejumlah gejala alam yang diamatinya. Selanjutnya pengambilan keputusan dapat digunakan orang ketika membangun konsep, membuat pemodelan matematik, dan menemukan inferensi logika. Dengan demikian apabila orang hanya mempelajari sains dari segi terminologinya saja apalagi secara hafalan, maka berarti pula ia tidak belajar sains.

Keterkaitan Keterampilan Generik Sains Dan Konsep-konsep Sains

Berdasarkan paradigma baru dalam mempelajari sains yang harus berdampak pada kompetensi, bahkan efek iringan dari suatu pembelajaran dirasakan lebih penting pada abad ke-21 ini, dari pada efek pembelajaran langsung. Sebagai akibatnya guru perlu menentukan terlebih dahulu keterampilan generik sains yang perlu dimiliki siswa sebagai dampak suatu pembelajaran sains.

Dengan berkembang pesatnya pengetahuan sains, maka penambahan konsep-konsep sains yang perlu dipelajari siswa juga sangat besar. Sebagai akibatnya perlu ada pemilihan konsep-konsep esensial yang dipelajari siswa. Konsep-konsep esensial ini dipilih berdasarkan pada pentingnya konsep tersebut untuk kehidupan siswa dan pentingnya memberi pengalaman belajar tertentu kepada siswa, agar memperoleh bekal keterampilan generik sains yang memadai.

Untuk menentukan pengetahuan sains yang perlu dipelajari siswa, guru perlu terlebih dahulu melakukan analisis konsep-konsep sains tersebut. Analisis ini dilakukan dengan metode deskriptif terhadap sejumlah konsep yang terdapat pada 8 topik dari 3 disiplin sains yang meliputi 2 topik Fisika, 3 topik Biologi dan 3 topik Kimia. Topik-topik Fisika meliputi Termodinamika dan Induksi Magnetik, topik-topik Kimia meliputi Hidrolisis Garam, Sifat Koligatif Larutan dan Perubahan Keadaan Gas Ideal, dan topik-topik Biologi meliputi Bakteriologi & Virologi, Keragaman tingkat organisasi kehidupan, Metabolisme & Prinsip-prinsip Genetika (Liliasari, et al. 2007). Hasil analisis konsep pada delapan topik sains dan hubungannya dengan keterampilan generik sains yang dapat dipelajari siswa melalui topik-topik tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Hubungan disiplin sains, keterampilan generik sains dan topik sains

No	Disiplin sains	Keterampilan Generik Sains	Topik Sains
1.	Fisika	Pengamatan tak langsung, inferensi logika, pemodelan matematika, bahasa simbolik, membangun konsep, hukum sebab akibat, kerangka logika taat azas	1. Termodinamika 2. Induksi Magnetik
2.	Biologi	Pengamatan tak langsung, inferensi logika, pemodelan matematika, bahasa simbolik, membangun konsep kesadaran akan skala besaran	1. Bakteriologi & Virologi, 2. Keragaman tingkat organisasi kehidupan, 3. Metabolisme & Prinsip-prinsip genetika
3.	Kimia	pengamatan tak langsung, pengamatan langsung, inferensi logika, pemodelan matematik, bahasa simbolik, membangun konsep, hukum sebab akibat, kerangka logika taat azas	1. Hidrolisis Garam, 2. Sifat Koligatif Larutan, 3. Perubahan Keadaan Gas Ideal.

Berdasarkan tabel tersebut tampak bahwa dari 8 topik sains yang diteliti ada yang dapat membekalkan keterampilan generik sains yang sama dan beberapa yang berbeda.

Beberapa keterampilan generik sains yang *sama* yang dipelajari melalui kedelapan topik sains tersebut, meliputi *pengamatan langsung atau tak langsung, bahasa simbolik, inferensi logika, pemodelan matematika, dan membangun konsep*.

Keterampilan generik *kerangka logika taat azas dan hukum sebab-akibat* merupakan ciri dari konsep-konsep kimia dan fisika, yaitu Termodinamika, Induksi Magnetik, Hidrolisis Garam, Sifat Koligatif Larutan dan Perubahan Keadaan Gas Ideal.

Keterampilan generik *kesadaran akan skala besaran* merupakan ciri dari konsep biologi yang dipelajari melalui topik Bakteriologi & Virologi, Keragaman Tingkat Organisasi Kehidupan, serta Metabolisme & Prinsip-prinsip Genetika

Analisis lebih lanjut menunjukkan hubungan antara jenis konsep-konsep sains dengan keterampilan generik sains. Hasil analisis dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hubungan Jenis konsep dan Keterampilan Generik Sains

No	Keterampilan Generik Sains	Jenis Konsep
1.	Pengamatan langsung	Konsep konkrit
2.	Pengamatan langsung/ tak langsung, inferensi logika	Konsep abstrak dengan contoh konkrit
3.	Pengamatan tak langsung, inferensi logika	Konsep abstrak
4.	Kerangka logika taat azas, hokum sebab akibat, inferensi logika	Konsep berdasarkan prinsip
5.	Bahasa simbolik, pemodelan matematik	Konsep yang menyatakan simbol
6.	Pengamatan langsung/ tak langsung, hukum sebab akibat, kerangka logika taat azas, inferensi logika	Konsep yang menyatakan proses
7.	Pengamatan langsung/ tak langsung, hukum sebab akibat, kerangka logika taat azas, inferensi logika	Konsep yang menyatakan sifat

Tabel 2 menunjukkan bahwa mempelajari konsep-konsep sains membekalkan kemampuan berpikir yang kompleks. Pada umumnya setiap konsep sains dapat

mengembangkan lebih dari satu macam keterampilan generik sains, kecuali konsep konkrit. Konsep jenis ini sangat terbatas jumlahnya dalam sains, karena itu mempelajari konsep sains sejalan dengan mengembangkan keterampilan berpikir sains, yang merupakan berpikir tingkat tinggi.

Kesimpulan

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan beberapa hal. Belajar sains menurut paradigma baru adalah membekalkan keterampilan generik sains kepada siswa sebagai pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Mempelajari sains berarti pula mempelajari keterampilan generik sains. Disiplin-disiplin sains dapat membekalkan keterampilan generik yang sama atau yang berbeda bergantung pada jenis topik sains yang dipelajari. Fisika, biologi dan kimia dapat membekalkan keterampilan generik *pengamatan langsung atau tak langsung, bahasa simbolik, inferensi logika, pemodelan matematika, dan membangun konsep. Kerangka logika taat azas dan hukum sebab-akibat* merupakan ciri khas keterampilan generik kimia dan fisika, sedangkan *kesadaran akan skala besaran* merupakan ciri keterampilan generic biologi. Jenis konsep sains yang dipelajari dapat menentukan sejauh mana kekompleksan keterampilan berpikir yang dikembangkan siswa melalui pembelajaran tersebut.

Berdasarkan kesimpulan tersebut maka disarankan membekalkan keterampilan generic sains melalui pembelajaran sains, agar siswa dapat meningkatkan keterampilan berpikirnya.

Daftar Pustaka

- Brotosiswoyo, B.S. (2000). *Kiat Pembelajaran MIPA dan Kiat Pembelajaran Fisika di Perguruan Tinggi*, Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional
- Costa, A.L. ed.(1985). *Developing Minds:A Resource Book for Teaching Thinking*, Virginia: ASCD.
- Gallagher,J.J. (2007) .*Teaching Science for Understanding: A Practical Guide for School Teachers*, New Jersey: Pearson Merrill Prentice Hall
- Liliasari, et.al.(2007). Model-model pembelajaran berbasis TI untuk mengembangkan keterampilan generik sains dan berpikir tingkat tinggi pebelajar, *Penelitian HPTP*, Bandung: Sekolah Pasca Sarjana UPI.

Nickerson, R.S. et.al.(1985).*The Teaching of Thinking*, New Jersey: Laurence Erlbaum Associates Inc. Publishers.

Rutherford and Ahlgren.(1990). *Science for All Americans*, New York: Oxford University Press