

Pembelajaran Teknologi Nano di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Andalas

Adjarn Pratoto

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang 25163, Indonesia
E-mail: adjarn.pratoto@ft.unand.ac.id

Abstrak

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Andalas melakukan revisi kurikulum pada tahun 2010. Revisi dilakukan sebagai bagian dari proses penjaminan mutu pendidikan di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Andalas. Pelaksanaan revisi kurikulum dimaksudkan untuk menanggapi berbagai perubahan baik dalam proses pembelajaran itu sendiri maupun perubahan-perubahan global atau eksternal, seperti misalnya perkembangan ilmu dan teknologi. Teknologi nano merupakan teknologi baru yang perannya semakin meningkat dalam pemecahan-pemecahan masalah yang terkait dengan teknologi serta memberikan peluang bagi peningkatan kesejahteraan manusia. Berkenaan dengan hal tersebut, lulusan dari program studi teknik mesin diharapkan telah siap untuk beradaptasi dengan perkembangan teknologi tersebut. Untuk tujuan tersebut, pembelajaran teknologi nano mulai diperkenalkan dalam kurikulum jenjang sarjana Program Studi Teknik Mesin, Universitas Andalas. Dalam makalah ini dipaparkan rekonstruksi matakuliah teknologi nano, yang meliputi lingkup dan urutan serta metoda penyampaian dan penilaian. Pengembangan metoda penyampaian dan penilaian dilakukan dengan menggunakan matrik artikulasi.

Keywords: kurikulum, teknologi nano, matakuliah, rekonstruksi, matrik artikulasi

Pendahuluan

Kurikulum suatu program studi perlu untuk selalu dievaluasi dan dikembangkan agar lulusan yang dihasilkan dapat menyelaraskan diri terhadap kebutuhan pemangku kepentingan (*stakeholder*) yang dinamik. Evaluasi kurikulum dilaksanakan baik terhadap pelaksanaan (kurikulum mikro) maupun terhadap program umum (kurikulum makro). Evaluasi ini merupakan bagian dari proses penjaminan mutu terhadap proses. Penjaminan mutu lainnya meliputi input dan output. Namun demikian, ketiga aspek tersebut – input, proses, output, tidak dapat dipisahkan satu sama lain.

Revisi atau pengembangan kurikulum dimaksudkan, antara lain, untuk mengantisipasi perubahan-perubahan yang mungkin terjadi pada masa depan, terutama perubahan atau perkembangan dalam ilmu dan teknologi sehingga lulusan suatu program studi dapat serta merta menyesuaikan diri dengan lingkungannya. Dalam konteks tersebut, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Andalas juga melakukan evaluasi secara berkala terhadap kurikulum yang dimilikinya. Dalam revisi kurikulum, tahap pertama yang dilakukan oleh tim revisi kurikulum adalah merancang kerangka revisi kurikulum, yang pada hakekatnya mendefinisikan

langkah-langkah dan kegiatan dalam proses revisi kurikulum tersebut. Berdasarkan kerangka tersebut, maka langkah berikutnya adalah mengidentifikasi pihak-pihak pemangku kepentingan, baik internal (misalnya pihak manajemen institusi) maupun eksternal (misalnya pengguna lulusan, asosiasi profesi) beserta kebutuhannya dalam bentuk atribut lulusan. Selain kebutuhan pemangku kepentingan, identifikasi juga dilakukan terhadap perkembangan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi atau teknologi-teknologi baru yang sekiranya memberikan dampak terhadap pendidikan teknik mesin, karier lulusan, dan/atau peluang kerja lulusan. Di antara teknologi baru tersebut, teknologi nano diadopsi sebagai subyek pembelajaran dalam kurikulum Program Studi Teknik Mesin, Universitas Andalas.

Mengapa Teknologi Nano?

Laity, *et al.* (2004) dalam gugus kerja rumpun pengetahuan (*Body of Knowledge Task Force*) American Society of Mechanical Engineers (ASME) melakukan identifikasi terhadap pendorong terhadap perubahan (*drivers for change*) dalam pendidikan teknik mesin. Pendorong terhadap perubahan tersebut meliputi, antara lain, meningkatnya kompleksitas dan fondasi interdisiplin sistem rekaan (*engineered systems*), kemunculan yang cepat teknologi-teknologi baru, kaburnya batas-batas disiplin ilmu teknik, globalisasi

yang diikuti dengan persaingan global, konvergensi bidang teknik dengan biologi. Kajian juga melaporkan perhatian terhadap bidang berikut: ilmu hayati dan rekayasa, teknologi nano, dan kerjasama internasional. Selain itu, ASME (2004) juga telah memetakan bidang-bidang baru dalam teknik mesin dimana salah satu bidang tersebut adalah teknologi nano. Bidang lainnya adalah rekayasa biomedik, mikrofluidik, sistem elektromekanik mikro (*micro-electromechanical systems*, MEMS), mekatronika dan sistem mekanik cerdas, dan haptika. Teknologi nano merupakan bidang yang bersifat interdisipliner yang melibatkan fisika, kimia, biologi dan ilmu-ilmu teknik. Menurut NNI (National Nanotechnology Initiative) Amerika Serikat, teknologi nano didefinisikan sebagai “*the understanding and control of matter at dimensions of roughly 1 to 100 nanometers, where unique phenomena enable novel applications*”.

Dalam beberapa tahun terakhir, peneliti, industri, maupun pemerintah terutama di negara maju memberikan perhatian yang semakin meningkat terhadap teknologi nano. Anggaran untuk penelitian dan pengembangan di negara-negara Uni Eropa, Jepang, dan Amerika Serikat selalu meningkat setiap tahunnya (Abicht, *et al.*, 2006; Roco, 2001 & 2002). Pada tahun 2006, anggaran untuk penelitian dan pengembangan di bidang teknologi nano mencapai US\$11,8 miliar dan meningkat hingga lebih dari US \$ 18 miliar pada tahun 2008 (Fiorino, 2010). Hal ini mengisyaratkan bahwa teknologi nano merupakan teknologi yang strategis untuk meningkatkan daya saing negara dalam masa mendatang. Dalam dua puluh tahun ke depan, teknologi nano-bio akan mendominasi pengembangan teknologi yang akan memengaruhi kehidupan manusia sehari-hari (Anonim, 2008a).

Potensi pengembangan industri yang berbasiskan kepada teknologi nano sangat besar. Beberapa perusahaan besar telah mulai melakukan komersialisasi teknologi nano ataupun mengintegrasikan teknologi nano dalam bisnisnya (Miller, *et al.*, 2005). Penetrasi pasar barang-barang *consumer* berbasis teknologi nano mencapai 3 – 4 item per minggu (Anonim, 2008b).

Dalam rentang tahun 2010 – 2015, kebutuhan tenaga kerja dalam bidang teknologi nano diperkirakan mencapai 0,8 – 0,9 juta orang di Amerika Serikat, 0,5 – 0,6 juta orang di Jepang, 0,3 – 0,4 di Eropa, dan 0,1 – 0,2 juta orang di Asia-Pasifik (tanpa Jepang) serta sekitar 0,1 juta orang di negara-negara lain (Roco, 2001).

Dengan mengembangkan program pendidikan pada tahapan awal evolusi teknologi (nano), mahasiswa diharapkan lebih siap untuk karir yang lebih tinggi pada saat teknologi tersebut telah berkembang maju. Dengan fondasi yang kuat atas dasar-dasar teknologi baru tersebut, lulusan diharapkan akan cepat beradaptasi dan berkontribusi dengan tambahan sedikit pelatihan atau pendidikan (Fazarro, *et al.*, 2012).

Pembelajaran Teknologi Nano di Perguruan Tinggi

Mengingat bahwa perkembangan teknologi nano diperkirakan akan memainkan peran yang besar dalam struktur industri dan bisnis masa depan, maka mahasiswa perlu dipersiapkan untuk dapat beradaptasi dengan kondisi tersebut. Memasukkan teknologi nano ke dalam kurikulum memberikan peluang sekaligus tantangan. Bagi mahasiswa, hal ini akan memberikan peluang untuk menambah wawasan dan pengetahuan terhadap situasi spesifik yang diperkirakan berbeda dari situasi kini. Di sisi lain, karakteristik teknologi nano yang interdisipliner juga memberikan tantangan dalam perancangan kurikulumnya.

Barakat & Jiao (2010, 2011) memetakan tantangan-tantangan dalam pembelajaran teknologi nano di program sarjana (*undergraduate*). Tantangan pertama adalah karakteristik teknologi nano yang interdisipliner. Dalam pendidikan tradisional, pembelajaran dikemas dalam suatu kompartemen yang disebut dengan jurusan atau program studi. Hal ini menimbulkan kecenderungan pembelajaran teknologi nano condong ke jurusan tempat dosen bertugas. Hal tersebut juga ditegaskan oleh Biggs, *et al.* (2002) bahwa pengelompokan sub-sub bidang dalam teknologi nano akan semakin memperkokoh dinding pembatas bidang ilmu sehingga hal ini tidak akan memberikan landasan yang kuat bagi matakuliah yang bersifat lintas ilmu. Tantangan kedua adalah dalam menentukan lingkup pembelajaran. Dosen dengan latar belakang teknik elektro akan menitikberatkan pada bidang teknik elektro. Demikian juga, dosen dari teknik kimia akan menitikberatkan bahasan pada bidang teknik kimia. Tantangan yang ketiga adalah bahwa teknologi nano memerlukan cakupan dari berbagai basis ilmu, seperti ilmu pengetahuan alam, ilmu teknik, dan humaniora sehingga perlu pengelolaan dalam proses pembelajaran seperti *team teaching* atau kerjasama dari beberapa jurusan. Karakteristik interdisipliner dari teknologi nano juga menimbulkan tantangan lainnya (tantangan ke empat) yaitu dalam menentukan sumber referensi yang tepat. Tantangan lain adalah adanya tradisi yang kuat di Program Studi Teknik Mesin, Universitas Andalas dalam pengelompokan jurusan ke dalam bidang-bidang keahlian, yaitu konstruksi, konversi energi, material, dan teknik produksi. Pengotakan jurusan yang ketat ke dalam kelompok-kelompok bidang keahlian ini mengurangi keluwesan dalam

merespon perubahan-perubahan. Selain itu, perkembangan teknologi nano yang belum terlalu meluas di Indonesia juga memberikan hambatan mental (*mental block*) tersendiri.

Namun demikian, beberapa akademisi justru menyarankan bahwa pembelajaran teknologi nano diselaraskan dengan program studi terkait (McNally, 2009) ataupun memperkuat *core skill* program studi dan secara bersamaan memberikan keluasan untuk berinteraksi dalam tim multidisiplin (Koretsky, *et al.* 2007). Sementara itu, lokakarya yang diorganisasikan oleh Ketua-ketua Jurusan Big-Ten-Plus merekomendasikan untuk mendefinisikan dan mengartikulasikan kontribusi bidang teknik mesin dalam teknologi nano (Anonim, 2002).

Sasaran Pembelajaran (*Learning Objectives*)

Salah satu tujuan pendidikan dari kurikulum Program Studi Teknik Mesin, Universitas Andalas adalah bahwa lulusan memiliki daya saing di tingkat regional dan internasional serta mampu beradaptasi dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Untuk mencapai tujuan tersebut, perlu dirumuskan sasaran pembelajaran yang berkaitan dengan teknologi nano.

Donoval (2007) menyarankan sasaran pembelajaran dalam kurikulum teknologi nano sebagai berikut: dasar teoretik matematik, fisika, dan kimia yang diintegrasikan dengan ilmu material, teknologi mikroelektronika, dan teknik instrumentasi; analisis dan berpikir kritis; desain inovatif; kemampuan komunikasi dalam tim internasional dan mobilitas (untuk perusahaan besar); dan kemampuan multidisiplin dan diversitas, kepemimpinan, pengambilan keputusan, dan kewirausahaan (untuk usaha kecil dan menengah). Kecuali integrasi dari ilmu pengetahuan alam dengan ilmu teknik, sasaran pembelajaran yang diusulkan tersebut bersifat *transferable skill*.

Strategi lain dalam penentuan sasaran pembelajaran adalah dengan memetakan profil lulusan. Abicht, *et al.* (2006, 2007) mengidentifikasi profil tenaga kerja pada bidang teknologi nano. Pada Tabel 1 diperlihatkan cabang-cabang nano dan bidang penerapannya. Dari bidang penerapan tersebut, diidentifikasi profil tenaga kerja yang dibutuhkan.

Tabel 1 Cabang-cabang nano dan penerapannya (Abicht, *et al.*, 2006; 2007)

	Cabang nano			
	A	B	C	D
Energi dan teknologi lingkungan, teknologi pengukuran	xxx	x	x	x
Ilmu-ilmu hayati, teknologi medikal, farmasi, prosedur kosmetik	x	xxx	x	x
Industri kimia, tekstil, bahan makanan	x	x	xxx	
Teknologi informasi dan komunikasi	x		xx	xxx
Industri otomotif			xx	xx
Perangkat rumah tangga dan olahraga			x	x

Keterangan: A – nanoanalysis, B – teknologi nano-bio/teknologi medikal, C – material nano/ kimia nano, D – optika nano/elektronika nano

Bilamana ditinjau dari bidang-bidang aktifitas, maka teknologi nano meliputi: penelitian dan pengembangan, produksi dan manufakturing, penjaminan mutu, dokumentasi, dan pemasaran dan distribusi (Abicht, *et al.*, 2006). Adapun, untuk *knowledge/understanding*, Bachmann (Spath & Buck, 2007) membagi teknologi nano ke dalam subdisiplin berikut:

- nanoelektronik,
- nanooptik,
- nanofabrikasi,
- nanomaterial,
- nanokimia,
- nanobioteknologi, dan
- nanoanalisis.

Dari uraian-uraian di atas, setidaknya terdapat dua kategori dalam menetapkan strategi pembelajaran; yang pertama adalah strategi untuk menjaga hakikat interdisipliner dari teknologi nano, sedangkan yang kedua adalah dengan menitikberatkan kepada fokus bidang asal. Mengingat bahwa teknologi nano masih sangat baru di lingkungan Universitas Andalas, strategi yang kedua yang diambil, yaitu dengan mengambil topik-topik yang terkait erat dengan bidang teknik mesin. Selain itu, dengan mengingat keterbatasan dalam sumber daya, kurikulum teknologi nano dalam taraf ini dikembangkan sebagai *engineering survey course* dan sasaran pembelajaran teknologi nano dirumuskan sebagai berikut ini.

Sasaran Umum

Mengingat bahwa sebagian besar mahasiswa belum akrab dengan teknologi nano, maka sasaran umum dari pembelajaran teknologi nano adalah:

- memberikan pengantar yang komprehensif subyek sehingga mahasiswa dapat menjadikannya sebagai

landasan yang kuat dalam pembelajaran mandiri selanjutnya.

Sasaran Khusus

Adapun sasaran khusus dari pembelajaran teknologi nano adalah bahwa setelah selesai pembelajaran, mahasiswa diharapkan mampu:

- menjelaskan konsep dan konteks teknologi nano
- menjelaskan perbedaan sifat-sifat material pada ukuran nano dengan sifat-sifat pada ukuran makro/curah
- menjelaskan pembuatan material nano (*top-down approach* dan *bottom-up approach*)
- menjelaskan metoda yang umum dalam karakterisasi material nano
- mengidentifikasi area penerapan teknologi nano dalam bidang teknik mesin
- menjelaskan implikasi material nano terhadap kesehatan
- mengidentifikasi implikasi sosial dan etika dari kegiatan dan produk teknologi nano

Transferable skills

- mampu bekerjasama dalam kelompok
- mampu berkomunikasi dengan baik secara lisan maupun tulisan

Metoda Penyampaian

Metoda pembelajaran diarahkan pada konstruksi oleh mahasiswa (konstruktivisme) dengan proporsi yang lebih besar daripada metoda preskriptif (*lecture*). Pembelajaran dirancang dengan menggunakan tiga sumber belajar (Gb.1), yaitu dosen, teman sejawat, dan media cetak maupun non-cetak. Pada Gb.1, tanda panah dengan badan panah berupa garis putus-putus menyatakan umpan balik.



Gambar 1 Sumber belajar mahasiswa

Pada Gb.2 diperlihatkan matrik artikulasi yang menggambarkan hubungan antara bahan kajian dengan metoda penyampaian (*delivery*). Huruf P, W, dan V di dalam sel matrik menyatakan, masing-masing: pengantar, *wrap up*, dan aktifitas mahasiswa. Dengan demikian, dalam perkuliahan, tugas dosen hanya memberikan pengantar dan

wrap up. Sebagai contoh, sebelum pemberian tugas kelompok, dosen memberikan pengantar mengenai, antara lain, hakikat kerjasama, peran anggota kelompok, tanggung jawab anggota kelompok, dan hambatan-hambatan yang umumnya ditemui dalam kerja kelompok.

Untuk kegiatan psikomotorik (*hands-on activities*), umumnya diperlukan ruangan yang ultra bersih. Hal ini akan membutuhkan investasi dalam pengadaan dan pemeliharaannya. Demikian juga, perangkat-perangkat untuk manipulasi dan karakterisasi pada tingkatan atom biasanya berbiaya tinggi. Program Studi Teknik Mesin, Universitas Andalas telah memiliki sebuah *ball mill* dan *Scanning Electron Microscope*. Pemakaian alat-alat tersebut memerlukan pelatihan secara khusus. Mengingat keterbatasan tersebut, praktikum hanya dibatasi pada level nol atau demonstrasi, dimana tujuan, material, metoda, dan jawaban diberikan (Anonim, 1999). Demonstrasi digunakan untuk menggambarkan kaidah-kaidah teoretik ataupun proses-proses. Demonstrasi ini dapat dilakukan baik oleh demonstrator maupun oleh mahasiswa sendiri. Dengan semakin banyaknya bahan-bahan (termasuk video) yang tersedia di internet, materi peragaan sangat dimungkinkan untuk disusun dan dilaksanakan oleh mahasiswa sendiri.

	Kuliah	Tugas mandiri	Praktikum	Tugas kelompok
Motivasi	P			
Pengertian teknologi nano		V		
Sifat-sifat material nano	W			V
Fabrikasi material nano	W		V	V
Karakterisasi material nano			V	V
Material berstruktur nano	W			V
Identifikasi area penerapan dalam teknik mesin	W			V
Teknologi nano dan kesehatan				V
Etika				V
Kerjasama tim	P			V
Komunikasi	P			V

Gambar 2 Matrik artikulasi

Metoda Penilaian

Untuk penilaian, digunakan penilaian formatif dan penilaian sumatif. Penilaian formatif digunakan untuk meningkatkan efektifitas proses pembelajaran kelas. Sedangkan, penilaian sumatif digunakan untuk menetukan tingkat pencapaian mahasiswa dari proses pembelajaran (Driscoll, 2003).

Untuk penilaian, digunakan format berikut:

- Pekerjaan rumah atau tugas mandiri
- Presentasi
- Review presentasi
- Ujian tulis

Review presentasi digunakan untuk penilaian formatif, sedangkan tiga lainnya digunakan untuk penilaian sumatif.

Kesimpulan

Revisi kurikulum secara berkala dilakukan oleh Program Studi Teknik Mesin, Universitas Andalas. Dalam revisi tahun 2010, beberapa teknologi baru dimasukkan dalam kandungan kurikulum untuk mempersiapkan lulusan agar siap beradaptasi dengan perkembangan ilmu dan teknologi di masa mendatang. Salah satu dari teknologi baru adalah teknologi nano. Konstruksi matakuliah teknologi nano dilakukan dengan terlebih dahulu merumuskan sasaran pembelajaran, kemudian merancang metoda penyampaian (*delivery method*), dan akhirnya merancang metoda penilaian. Dalam penilaian, digunakan baik pendekatan formatif maupun sumatif.

Referensi

Abicht, L, Freikamp, H., & Schumann, U. (2006), Identification of skill needs in nanotechnology, *Cedefop Panorama Series 120*, The European Centre for the Development of Vocational Training, www.cedefop.eu.int

Abicht, L & Schumann, U. (2007), Identification of skill needs in nanotechnology: Overview based on the secondary analysis, dalam *Skill Needs in Emerging Technologies: Nanotechnology* (Ed. A. Zukersteinova), Cedefop http://www.cedefop.europa.eu/etv/Upload/Project_s_Networks/Skillsnet/Publications/2007-09-14_final_version.pdf

Anonim (1999), Effective laboratory teaching, Participant's Note, Session 29, Teaching Improvement Workshop, Proyek Peningkatan Pendidikan Sains dan Keteknikan, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Bandung, 8 – 27 Februari

Anonim (2002), New directions in mechanical engineering, A Report from a Workshop Organized by the Big-Ten-Plus Mechanical Engineering Department Heads, Clearwater Beach, Florida January 25-27

Anonim (2008a), "2028 Vision for Mechanical Engineering", the Global Summit on the Future of Mechanical Engineering, ASME Strategic Issues Committee of the Strategic Management Sector www.asme.org

Anonim (2008b), New Nanotechnology Products Hitting The Market At The Rate Of 3-4 Per Week <http://www.sciencedaily.com/releases/2008/04/080424102505.htm> diakses 8 Oktober 2013

ASME (2004), *Mechanical Engineering, The ASME Professional Practice Curriculum*, <http://www.professionalpractice.asme.org/transition/mediscipline/index.htm> diakses September 2004

Barakat, N. & Jiao, H. (2010), Proposed strategies for teaching ethics of nanotechnology, *Nanoethics Journal*, September, DOI 10.1007/s11569-010-0100-0

Barakat, N. & Jiao, H. (2011), Nanotechnology integration to enhance undergraduate engineering education, *The 1st World Engineering Education Flash Week (WEE2011)*, Lisbon, Portugal, September 27-30

Biggs, M.J., Koutsos V., Kitching, C. (2002) Delivery of a nanotechnology course in a heterogeneous engineering environment, International Conference on Engineering Education, Manchester, U.K. August 18–21,

Donoval, D. (2007), Trends and implications in nanotechnology and their impact on future skill needs, dalam *Skill Needs in Emerging Technologies: Nanotechnology* (Ed. A. Zukersteinova), Cedefop http://www.cedefop.europa.eu/etv/Upload/Projects_Networks/Skillsnet/Publications/2007-09-14_final_version.pdf

Driscoll, W.D. (2003), Methodology for formative assessment, *Proceedings of the 2003 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition*. Nashville, Tennessee, June 22-25

Fazarro, D.E., Newberry, D., Trybula, W., & Hyder, J. (2012), Introducing a nanotechnology curriculum and considerations for bridging academic/industry relationships: An overview and the new challenge for ATMAE, *The Journal of Technology, Management, and Applied Engineering* **28** (1), pp. 1-9

Fiorino, D.J. (2010), Voluntary initiatives, regulation, and nanotechnology oversight: Charting a path, Pen 19, Woodrow Wilson International Center for Scholars, Washington, D.C., November www.wilsoncenter.org/nano

Koretsky, M., Amatore, D., Kimura, S., Yokochi, A., (2007), Development of a nanotechnology curriculum at Oregon State University, http://www.engr.uky.edu/~aseeched/papers/2007/1244_DEVELOPMENT_OF_A_NANOTECHNOLOGY_CURRICUL.pdf

Laity, W., Aung, W., Benson, R., Bernard, J., Fisher, K., Gourley, F., King, B., Menon, A., Nott, B., Perry, T., Simoneau, B., Stong, C., Warrington, B., & Wepfer, B. (2004), "A vision of the future of mechanical engineering education", ASME Council on Education

McNally, H. (2009), Curriculum development in nanotechnology, *2009 ASEE Annual Conference & Exposition "Incorporating Diversity and Globalization in Engineering Education"*, Austin, TX, June 14 - 17

Miller, J.C., Serrato, R., Represas-Cardenas, J.M., & Kundahl, G. (2005), *The Handbook of Nanotechnology – Business, Policy, and Intellectual Property Law*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

Presting, H. & König, U. (2003), Future nanotechnology developments for automotive applications, *Materials Science and Engineering C* **23** pp. 737–741

Roco, M.C. (2001), International strategy for nanotechnology research and development, *Journal of Nanoparticle Research* **3**, pp. 353–360

Roco, M.C. (2002), Nanotechnology – A frontier for engineering education, *Int. J. Engineering Education* **18** (5), pp. 488 - 497

Spath, D. & Buck, S.L. (2007), Emerging technologies – New skill needs in the field of nanotechnology, dalam *Skill Needs in Emerging Technologies: Nanotechnology* (Ed. A. Zukersteinova), Cedefop http://www.cedefop.europa.eu/etv/Upload/Projects_Networks/Skillsnet/Publications/2007-09-14_final_version.pdf