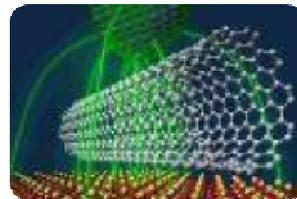
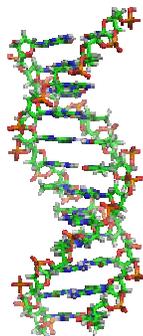
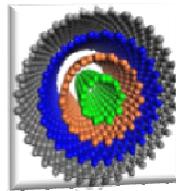




**DEPARTEMEN PERINDUSTRIAN**  
**BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN INDUSTRI**

**ROAD MAP**  
**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI INDUSTRI**  
**BERBASIS NANOTEKNOLOGI**



**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI INDUSTRI**

Jl. Gatot Subroto Kav 52-53 Lantai 20

Jakarta Selatan 12950

Telp. (021) 525 5509 ext.4016 – 525 6112 Fax. (021) 525 6112

# **ROADMAP PENGEMBANGAN TEKNOLOGI INDUSTRI BERBASIS NANOTEKNOLOGI**

## **TIM EDITOR:**

1. Dr. Atih S. Herman
2. Ir. Djumarman

## **TIM PENULIS:**

1. Dr. Atih S. Herman
2. Ir. Djumarman
3. Dr. Nurul Taufiqu Rohman, M.Eng.,
4. Dr. Setyo Purwanto,
5. Dr. Agus Fanar Syukri, PhD
6. Dr. Agus Haryono

**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI INDUSTRI  
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI INDUSTRI  
DEPARTEMEN PERINDUSTRIAN  
TAHUN 2008**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan segala Rahmat dan Hidayah-Nya, sehingga kegiatan penyusunan Road Map Pengembangan Teknologi Industri Berbasis Nanoteknologi ini dapat selesai tepat pada waktunya.

Kegiatan ini bertujuan untuk penyempurnaan terhadap Kebijakan Industri Nasional yang telah ada, serta untuk menyusun Road Map Pengembangan dan Implementasi Nanoteknologi untuk meningkatkan daya saing klaster industri nasional, melalui pemetaan dan analisa faktor internal dan faktor eksternal secara komprehensif dan menyeluruh baik dari sisi teknis maupun ekonomis.

Kami ucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berpartisipasi dalam penyusunan Road Map Pengembangan Teknologi Industri Berbasis Nanoteknologi, dan kami berharap bahwa penyusunan Road Map ini dapat bermanfaat bagi perencanaan dan penerapan kebijakan pengembangan industri nasional di masa depan.

Jakarta, Desember 2008

Tim Penyusun

## DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR TABEL .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
BAB I. PENDAHULUAN .....	1
BAB II. ANALISA EKSTERNAL .....	7
A. ARAH PENGEMBANGAN NANOTEKNOLOGI DI DUNIA .....	7
1. ARAH PENGEMBANGAN NANOTEKNOLOGI DI AMERIKA SERIKAT .....	8
2. ARAH PENGEMBANGAN NANOTEKNOLOGI DI EROPA ...	14
B. APLIKASI NANOTEKNOLOGI DI DUNIA .....	17
1. KOMERSIALISASI DAN INOVASI NANOTEKNOLOGI DI AS	21
2. PERUSAHAAN DAN PELUANG BISNIS NANOTEKNOLOGI DI UNI EROPA .....	21
3. FOKUS APLIKASI NANOTEKNOLOGI DI EROPA .....	22
4. FOKUS APLIKASI NANOTEKNOLOGI DI ASIA PASIFIK.....	23
C. RELEVANSI DENGAN PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI NASIONAL .....	24
BAB III. ANALISA INTERNAL .....	26
A. KESIAPAN PENGUASAAN NANOTEKNOLOGI DI INDONESIA..	26
1. KETERSEDIAAN SDM IPTEK NANOTEKNOLOGI .....	26
2. PUBLIKASI HASIL LITBANG NANOTEKNOLOGI .....	27
3. PENGUASAAN TEKNOLOGI PEMBUATAN NANOPARTIKEL	28
4. INFRASTRUKTUR PENDUKUNG LITBANG .....	29
B. POTENSI SUMBER DAYA ALAM .....	31
1. KEUNGGULAN KOMPARATIF DAN KOMPETITIF .....	32
2. POTENSI SUMBER DAYA MINERAL TAMBANG .....	33
3. POTENSI BATUBARA DAN MIGAS .....	34
4. POTENSI SUMBER DAYA HAYATI .....	37
5. PEMANFAATAN IPTEK DALAM PENGEMBANGAN SDA ....	38
C. KEBIJAKAN PEMERINTAH SAAT INI .....	40

BAB IV.	STATUS TERKINI PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI IN DUSTRI..	43
	A. PRIORITAS BIDANG NANOTEKNOLOGI DI INDONESIA .....	43
	B. PENGGUNAAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI NASIONAL ..	46
	C. INDUSTRI PRIORITAS UNTUK DIKEMBANGKAN MELALUI PENERAPAN NANOTEKNOLOGI .....	52
BAB V.	ISU-ISU STRATEGIS DAN STANDARDISASI NANOTEKNOLOGI...	54
	A. ISU GLOBAL .....	54
	B. BEBERAPA RISIKO NANOTEKNOLOGI .....	55
	1. MATERIAL NANO BERBAHAYA .....	55
	2. DISTRIBUSI NANOMATERIAL .....	55
	3. SISTEM KESELAMATAN PEKERJA NANOMATERIAL .....	58
	C. STANDARDISASI NANOTEKNOLOGI .....	58
	1. PERKEMBANGAN STANDAR NANOTEKNOLOGI DI AS.....	60
	2. PERKEMBANGAN STANDAR NANOTEKNOLOGI .....	61
	3. PERDAGANGAN ANTAR NEGARA .....	63
	D. ISU STRATEGIS YANG PERLU MENDAPAT PERHATIAN UTAMA .....	64
	1. STANDAR KEAMANAN DAN KESELAMATAN NANO TEKNOLOGI .....	64
	2. PENANGANAN BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN .....	65
	3. KEBIJAKAN PEMERINTAH DALAM PENGEMBANGAN NANOTEKNOLOGI DI INDONESIA .....	67
	4. PARTISIPASI DAN EDUKASI PUBLIK .....	69
	E. RANGKUMAN .....	70
BAB VI	ROAD MAP PENERAPAN NANOTEKNOLOGI .....	72
	A. PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI NASIONAL .....	72
	B. PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI TEKSTIL .....	75
	1. APLIKASI NANOTEKNOLOGI PADA PRODUKSI SERAT ....	76
	2. PRINTING DAN PEWARNAAN .....	77
	3. PENYEMPURNAAN (FINISHING) .....	77
	4. APLIKASI KHUSUS .....	78
	5. ROADMAP PENGEMBANGAN NANOTEKNOLOGI UNTUK INDUSTRI TEKSTIL INDONESIA .....	79
	C. PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI KERAMIK .....	81
	1. SURVEI PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI DAN GELAS KERAMIK .....	81
	2. ROADMAP PENERAPAN NANOTEKNOLOGI PADA INDUSTRI KERAMIK .....	82

BAB VII. IMPLEMENTASI ROADMAP .....	85
A. PRASYARAT PENERAPAN ROADMAP .....	85
B. KELEMBAGAAN PENGAWAL ROADMAP .....	86
C. PROGRAM DAN PEMERAN UTAMA IMPLEMENTASI .....	90
BAB VIII. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI .....	95
A. KESIMPULAN .....	95
B. REKOMENDASI .....	96
DAFTAR PUSTAKA .....	x

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Distribusi pendanaan tahun fiskal tahun 2008 berdasarkan Komponen kegiatan .....	11
Tabel 2.2 Distribusi pendanaan tahun fiskal tahun 2008 berdasarkan Komponen kegiatan .....	19
Tabel 2.3 Fokus aplikasi pasar nanoteknologi di Eropa .....	22
Tabel 2.4 Fokus aplikasi pasar nanoteknologi di Asia Pasifik .....	23
Tabel 3.1 Distribusi SDM Ristek Terkait Penelitian Bahan .....	27
Tabel 3.2 Infrastruktur Pendukung Litbang Nanoteknologi .....	30
Tabel 3.3 Potensi sumber daya dan cadangan nasional mineral logam....	33
Tabel 3.4 Daftar Negara Penghasil Batubara Dunia .....	35
Tabel 3.5 Daftar Negara Penghasil Minyak Dunia .....	35
Tabel 3.6 Daftar Negara Penghasil Gas Alam Dunia .....	36
Tabel 4.1 Penerapan nanoteknologi berdasarkan jenis industri .....	49
Tabel 4.2 Perkiraan tingkat kemudahan penerapan nanoteknologi di industri prioritas .....	53
Tabel 5.1 Peringatan 10 untuk racun berbahaya nanoteknologi .....	56
Tabel 5.2 Daftar Paten Nanoteknologi .....	60
Tabel 5.3 Negara anggota ISO TC 229 dan nama badan standardisasinya	62
Tabel 7.1 Progran kegiatan dan pemeran utama Penerapan Nanoteknologi di Industri .....	92

## DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1.1	Perbandingan dampak masyarakat dari beberapa revolusi Industri dan nanoteknologi .....	2
Gambar 1.2	Peluang nanoteknologi dalam dunia industri.....	3
Gambar 1.3	Disain riset road map pengembangan teknologi .....	5
Gambar 1.4	Tahapan dan deliverable (keluaran) kegiatan road map Pengembangan nanoteknologi untuk mendukung industri Nasional .....	6
Gambar 2.1	Pendanaan nanoteknologi di dunia 2006 – 2010 .....	8
Gambar 2.2	Pendanaan bersama dilaporkan sejak terbentuknya NNI .....	10
Gambar 2.3	Distribusi pendanaan NNI .....	10
Gambar 2.4	Publikasi nanoteknologi pada <i>Science Citation Index</i> (SCI).....	11
Gambar 2.5	Kontribusi publikasi nanoteknologi (%) di <i>Science, Nature and Proceeding of the National Academies of Science</i> .....	12
Gambar 2.6	Kontribusi tiap negara untuk publikasi nanoteknologi .....	12
Gambar 2.7	Jumlah paten nanoteknologi di tiga negara .....	13
Gambar 2.8	Paten terkait nanoteknologi berdasarkan negara .....	13
Gambar 2.9	Pendekatan penerapan nanoteknologi di Uni Eropa .....	15
Gambar 2.10	Empat generasi aplikasi nanoteknologi .....	17
Gambar 2.11	Rantai pembuatan produk nano .....	19
Gambar 2.12	Total perusahaan nanoteknologi di Eropa tahun 2007 .....	21
Gambar 2.13	Fokus pasar perusahaan aplikasi nanoteknologi di Eropa .....	23
Gambar 2.14	Fokus pasar perusahaan aplikasi nanoteknologi di Asia Pasifik.	24

Gambar 3.1	Peta kompetensi SDM Nanoteknologi diantara SDM Iptek Lain.	26
Gambar 3.2	Peta publikasi nanoteknologi periode 2005-2008 dikaitkan Dengan 6 fokus Agenda Riset Nasional (ARN) .....	28
Gambar 3.3	Infrastruktur Litbang Material Nano .....	29
Gambar 3.4	Platform Nanoteknologi Kemenegristek .....	41
Gambar 4.1	Kecenderungan penerapan nanoteknologi di Eropa .....	43
Gambar 4.2	Kecenderungan penerapan nanoteknologi di Asia Pasifik .....	44
Gambar 4.3	Nilai perhitungan AHP dalam penentuan prioritas bidang Nanoteknologi di Indonesia .....	46
Gambar 4.4	Tingkat pengenalan industri terhadap isu nanoteknologi .....	48
Gambar 4.5	Tingkat pengenalan industri terhadap isu nanoteknologi .....	48
Gambar 4.6	Sumber teknologi yang digunakan dalam penerapan nano- teknologi di masing-masing industri .....	48
Gambar 4.7	Fokus penerapan nanoteknologi pada industri nasional .....	49
Gambar 4.8	Pengaruh penerapan nanoteknologi pada produktivitas industri.	50
Gambar 4.9	Dampak penerapan nanoteknologi terhadap pasar .....	51
Gambar 4.10	Kebutuhan nanoteknologi di industri nasional .....	51
Gambar 4.11	Hambatan yang dirasakan industri dalam penerapan nano- teknologi .....	52
Gambar 5.1	Jalur pergerakan nanomaterial .....	57
Gambar 5.2	Beberapa contoh peralatan keselamatan kerja .....	58
Gambar 5.3	Komponen analisis risiko .....	66
Gambar 5.4	Tahapan pengembangan produk .....	68
Gambar 6.1	Roadmap pengembangan nanoteknologi untuk mendukung Industri nasional melalui pendekatan <i>market pull – technology Push</i> .....	75

Gambar 6.2	Roadmap pengembangan nanoteknologi untuk Industri Tekstil .....	80
Gambar 6.3	Roadmap pengembangan nanoteknologi untuk Industri Keramik .....	83
Gambar 7.1	Skema kelembagan pengawal roadmap penerapan nano- Teknologi di industri .....	87
Gambar 7.2	Skema keterlibatan institusi dalam kelembagaan aliansi strategis .....	90

## DAFTAR PUSTAKA

1. Alexander Huw Arnall, *Future Technologies, Today's Choices Nanotechnology, Artificial Intelligence and Robotics; A technical, political and institutional map of emerging technologies.* [www.greenpeace.org.uk](http://www.greenpeace.org.uk) (2003)
2. Berkeley, CA, *Surprise Finding For Stretched DNA,* <http://www.voyle.net/2006%20Future%20Technology/Future%202006-0017.htm> (2006)
3. Brochure, *Nanotechnologies for the Sport Textile Market,* <http://www.researchandmarkets.com/reports/344525/>
4. C&EN, *Business - Nanotech Offers Some There, There,* <http://pubs.acs.org/isubscribe/journals/cen/79/i48/html/7948bus1.html> (2002).
5. Center for Economic Growth and the Lally School of Management and Technology, *Nanotechnology Sector Report: Technology Roadmap Project* (2004).
6. Chemical Industry Vision2020 Technology Partnership, *Chemical Industry R&D Roadmap for Nanomaterials By Design: From Fundamentals to Function,* [www.ChemicalVision2020.org](http://www.ChemicalVision2020.org) (2003).
7. Commission Of The European Communities, *EU Policy for Nanosciences and Nanotechnologies,* COM(2004)
8. Commission Of The European Communities, *Nanosciences and Nanotechnologies: An action plan for Europe 2005-2009. First Implementation Report 2005-2007,* COM(2007)
9. Communication from the Commission, *Towards a European Strategy for Nanotechnology,* <http://www.cordis.lu/nanotechnology>, COM (2004)
10. Data-data Hasil Survey Industri Keramik 2008 (TIM Road Map)
11. Department of Defense Director, Defense Research and Engineering, Defense Nanotechnology Research and Development Program (2007)
12. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, *Approaches to Safe nanotechnology: An Information Exchange with NIOSH,* [www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/safenano/](http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/safenano/) July 2006
13. Department Science and Technology, Republic of South Africa, *The National Nanotechnology Strategy* (2005).
14. Dokumen "Pengembangan Litbang Ilmu dan Teknologi Nano" KemenegRistek(2006)



15. Donald C. Maclurcan, *Nanotechnology and Developing Countries Part 1: What Possibilities?*, Azojono: Journal of Nanotechnology Online, Vol.1, [www.azonano.com](http://www.azonano.com) (2005).
16. Donald C. Maclurcan, *Nanotechnology and Developing Countries Part 2: What Realities?*, Azojono: Journal of Nanotechnology Online, Vol.1, [www.azonano.com](http://www.azonano.com) (2005).
17. Donald C. Maclurcan, *Nanotechnology and Developing Countries*, [http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1428#\\_Contact\\_Details](http://www.azonano.com/Details.asp?ArticleID=1428#_Contact_Details) June, 2004
18. Dr. James Canton, *The Strategic Impact of Nanotechnology on the Future of Business and Economics*, Institutes for Global Futures (1999).
19. Dr. Joni Hautojärvi, *Nanotechnology – Turning Nanoscience into Business: Market Development for Nanostructured Metal-Based Powders*, OMG Kokkola Chemicals Oy (2004).
20. Dr. Wolfgang Luther, *International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology*, VDI Technologiezentrum GmbH, (2004).
21. Engineering and Physical Sciences Research Council, *Report of the Nanotechnology Strategy Group* (2006).
22. European Commission, *Roadmap Report Concerning the Use of Nanomaterials in the Aeronautics Sector*, Nanomaterial Roadmap 2015 (2006).
23. European Commission Community Research, *Communication from the Commission: Towards a European Strategy for Nanotechnology*, European Communities (2004).
24. European Commission Community Research, *Euro NanoForum 2005: Nanotechnology and the Health of EU Citizen in 2020*, European and International Forum on Nanotechnology, Edinburgh (UK), (2005).
25. Evan S. Michelson, *Nanoscience and Technology in China*, <http://online.wsj.com/article/SB115929285348374474.html>, (2007)
26. Evan S. Michelson, *Nanotechnology Policy: An Analysis of Transnational Governance Issues Facing the United States and China*, National Science Foundation Young Scholar (2006)
27. Gimena Gordillo, Xavier Hailey, *Nanopowder Production: A Comparison of Several Methods*, University of Illinois at Chicago (2004).
28. *Government Funding, Companies And Applications In Nanotechnology Worldwide 2007*, Technology Transfer Centre [www.nano.org.uk/reports.htm](http://www.nano.org.uk/reports.htm) (2007)
29. Ineke Malsch and Mireille Oud, *Outcome of the Open Consultation on the European Strategy for Nanotechnology*, [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org) (2004).

30. International Technology Research Institute, World Technology (WTEC) Division, Loyola College, *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*, National Science Foundation (2001).
31. Irish Council for Science, Technology and Innovation, *Nanotechnology in Ireland: A Snapshot*, Forfas (2002).
32. James Baker III Institute for Public Policy, Conference Report: *Energy and Nanotechnology: Strategy for The Future* (2005).
33. James Canton, Ph.D. The Emerging NanoEconomy: Key Drivers, Challenges and Opportunities, Institute for Global Futures (2000).
34. Jim Saxton, *Nanotechnology: The Future is Coming Sooner Than You Think*, Joint Economic Committee, United States Congress, (2007).
35. Kamini Aisola, Kaia Consult, *Tactical Technology Collective*, Tactical Technology Collective, Amsterdam, The Netherlands July 2004.
36. Kati Korhonen-Yrjänheikki, *Anticipating changes in the environment, labour market and society*, SEFI CEE Workshop in Tallinn (2004).
37. Kebijakan Industri Nasional, Departemen Perindustrian-RI
38. Ken P. Chong, *Nanoscience and Engineering in Mechanic and Material*, Rev.Adv.Mater.Sci 5 100-116 (2003).
39. Kumpulan Jurnal Indonesian NanoLetters (MNI)
40. Lerwen Liu, PhD, *Update on Nanotechnology Policy in the Asia Pacific Region*, [www.nanoworld.jp/apnw](http://www.nanoworld.jp/apnw) (2004)
41. M. C. Roco, *Funding Of Nanotechnology In Russia*, <http://www.wtec.org/lbrarian.htm> (1999)
42. M.C. Roco (Editor), *Nanostructure Science and Technology A Worldwide Study*, National Science and Technology Council (NSTC) (1999).
43. M.C. Roco, *Government Nanotechnology Funding: An International Outlook*, National Science Foundation (2003)
44. Massachusetts Technology Collaborative and Nano Science and Technology Institute Research, *Nanotechnology and Its Impact on Industry*, Nanotech 2004 Conference: Nano Science and Technology Institute (NSTI) (2004).
45. Michael Holman, *Nanomaterial Forecast: Volumes and Applications*, luxresearch (2007).
46. Mitch Horowitz, *Commercialization Challenges, Issues and Directions in Emerging Materials and Nanoscale Commercialization Challenges, Issues and Directions in Emerging Materials and Nanoscale Technologies*, Penn State Materials Penn State Materials Day (2007).

47. Nadezhda Gaponenko, Russian Nanotechnology 2020, Foresight Brief No. 075, [www.efmn.eu](http://www.efmn.eu) (2005).
48. Nanotechnology Research Institute (AIST), *Japan Nanotechnology Strategy 2005, Summary on Japan 3<sup>rd</sup> S&T Basic Plan and METI Nanotechnology Policy Committee Report*, Asia Pacific Nanotech Weekly, Vol.3. Article No.28 (2005).
49. Nanotechnology Trade Alliance, *Nanotechnology in Europe - Ensuring the EU Competes Effectively on the World Stage*, Survey & Workshop organized by Nanoforum in Düsseldorf, Germany (2007).
50. National Science and Technology Council, *The National Nanotechnology Initiative: Strategic Plan* (2007).
51. OECD Reviews of Innovation Policy CHINA, *Organisation For Economic Co-Operation And Development*, OECD 2007
52. Park Pill Hwan, Nanotechnology Strategy and Programs in Korea (2004).
53. Presinet's Council of Advisor on Science and Technology, The National Nanotechnology Initiative, *Second Assessment and Recommendations of the national Nanotechnology Advisory Panel*, [www.nano.gov](http://www.nano.gov) (2008)
54. Prof. Tokushi Kizuka, *Advancing Towards Atom Acale Factory in Japan*, nanotechnology Research Institute, AIST (2006)
55. Professor Greg Tegart, *Nanotechnology: The Technology for the 21st Century*, [http://www.apectf.nstda.or.th/html/our\\_org.html](http://www.apectf.nstda.or.th/html/our_org.html) (2002)
56. Providence, R.I, *Problem: Implant Infection. Solution: Nanotech Surfaces*, <http://www.voyle.net/2006%20Medicine/Medicine%202006-040.htm> (2006)
57. Renzo Tomellini, Uta Faure and Oliver Panzer, *Nanomedicine Nanotechnology for Health*, <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/nanomedicine.htm> (2006).
58. Report BCC Research (2006).
59. Report President Council of Advisors on Science and Technology (USA), April 2008.
60. Report Technology Transfer Centre-UK(2007)
61. *Researchers Find Controls to Gold Nanocatalysis*, <http://www.voyle.net/2006%20Research%20100+/Research-06-148.htm> (2006)
62. Richland, *Uranium 'Pearls' Before Slime*, <http://www.voyle.net/2006%20Research%20100+/Research-06-147.htm> (2006)
63. Situs [www.FP7.eu](http://www.FP7.eu)
64. Situs [www.nano.gov](http://www.nano.gov)

65. Steve Brown, *Research Needs For Future Development of EHS Nanomaterial Standards and Practices*, International Council of Nanotechnology, International NanoEHS Research Needs Assessment (2007).
66. Tapesh Yadav, *Trade Sale of Nanotechnology Companies – Trends & Opportunities*, Nanotechnology for Investors (2006).
67. Tapesh Yadav, *Trade Sale of Nanotechnology Companies – Trends & Opportunities*, Nanotechnology for Investors (2006).
68. The National Nanotechnology Initiative : *Strategic Plan*, [www.nano.gov](http://www.nano.gov) December 2007.
69. The National Nanotechnology Initiative, *Strategy for Nanotechnology-Related Environment, Health and Safety Research*, [www.nano.gov](http://www.nano.gov), Pebruari 2008.
70. Yateman A., et.al, *Iptek Nano di Indonesia*, KeMenegRistek 2007

# BAB I

## PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi telah merubah kehidupan manusia secara revolusioner dan menyeluruh menjadi lebih baik. Perubahan yang besar di bidang industri, atau disebut revolusi industri, telah memberikan dampak yang sangat luas di bidang sosioekonomi, budaya dan berbagai aspek kehidupan manusia. Pengembangan teknologi untuk menciptakan berbagai peralatan produksi dan transportasi seperti mesin tekstil, pompa, lokomotif, kapal, pembangkit listrik dan lain sebagainya telah meningkatkan produktivitas usaha manusia.

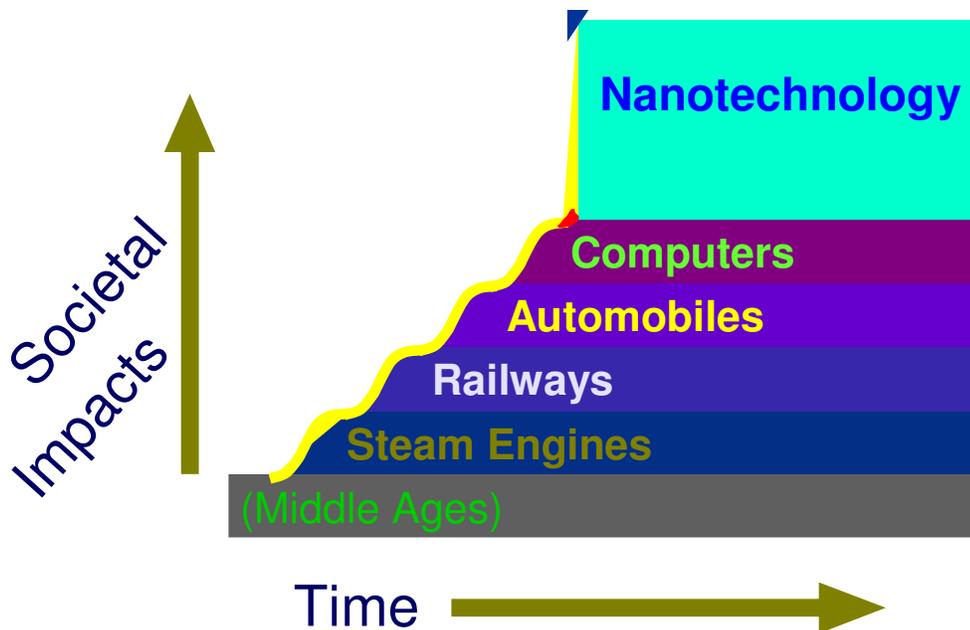
Pengembangan teknologi secara signifikan telah dapat meningkatkan daya saing industri suatu negara. Pemerintah dan para pegiat industri terus menerus meningkatkan *level knowledge* teknologi mereka untuk dapat memenangkan persaingan di era globalisasi ini. Oleh karena itu penguasaan teknologi terkini sangat perlu untuk dapat dimasukkan dalam kebijakan industri nasional.

Memasuki abad 21 telah terjadi perubahan paradigma dalam memandang teknologi. Saat ini sifat-sifat dan performansi material dapat direkayasa sedemikian rupa sehingga menjadi lebih efektif, efisien dan berdaya guna. Pada skala nanometer atau se-per-satu miliar meter ( $10^{-9}$  m), ternyata material memiliki sifat-sifat dan performansi serta fenomena yang unik dan jauh lebih unggul dibanding pada skala mikro meter ( $10^{-6}$  m). Dengan nanoteknologi, material dapat didisain dan disusun dalam orde atom-per-atom atau molekul-per-molekul sedemikian rupa sehingga tidak terjadi pemborosan yang tidak diperlukan. *Carbon nanotube (CNT)* adalah sebuah bentuk kristal baru dari gugus karbon, yang tersusun dari beberapa atom karbon berbentuk pipa dengan diameter beberapa nanometer, merupakan bahan baru terkuat dengan kekuatan spesifik 48000 kNm/kg, yang berarti melebihi kekuatan baja (154 kNm/kg) atau sekitar 300 kalinya. *Carbon nanotube* ini juga diketahui memiliki sifat unik lainnya seperti sifat listrik, optik, dan lain sebagainya.

Dengan menyusun ulang atau merekayasa struktur material di level nanometer, maka akan diperoleh suatu bahan yang memiliki sifat istimewa jauh mengungguli material yang ada sekarang. Inilah yang melatar-belakangi mengapa negara-negara di dunia berlomba-lomba mengalokasikan dana untuk pengembangan nanoteknologi. Menurut laporan *Technology Transfer Centre*, dalam periode 2006-2010 Jepang menganggarkan lebih dari 65 triliun rupiah, disusul Amerika, Eropa dan China masing-masing sekitar 60, 48 dan 32 triliun

rupiah. Angka-angka ini mengindikasikan bahwa mereka menaruh harapan yang besar terhadap penerapan nanoteknologi untuk pembangunan industri negaranya.

Para pakar memprediksi bahwa revolusi nanoteknologi akan berdampak sangat besar sebanding dengan empat revolusi industri yang pernah ada (revolusi mesin uap, kereta api, kendaraan bermotor dan komputer) yang memerlukan waktu selama dua abad. Dampak yang sama dari keempat revolusi industri ini akan dicapai hanya dalam waktu beberapa tahun saja seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1

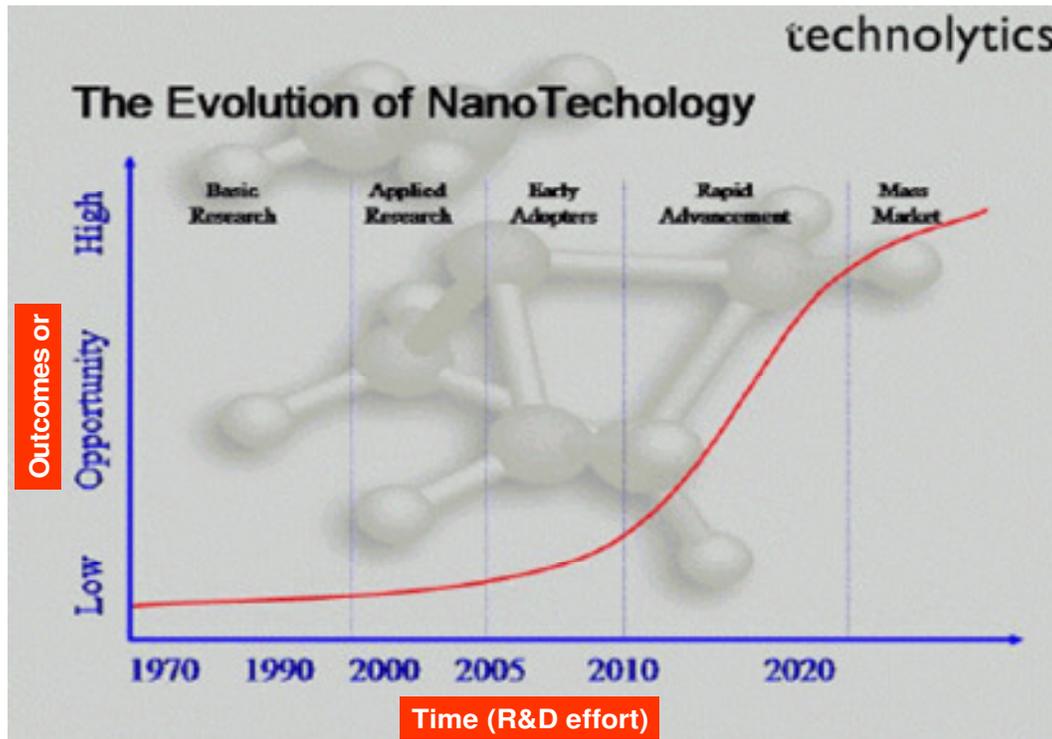


Sumber : *Center for Responsible Nanotechnology www.CRNano.org.*

Gambar 1.1 Perbandingan dampak masyarakat dari beberapa revolusi industri dan nanoteknologi

Menurut hasil kajian para pakar dari Eropa, potensi pengembangan nanoteknologi akan mengakselerasi produk-produk industri. Gambar 1.2 menunjukkan bahwa sampai tahun 2005, peluang nanoteknologi dalam pasar industri tidak terlalu memberikan dampak yang signifikan. Ini mengindikasikan bahwa riset dan pengembangan nanoteknologi memang masih berusia relatif baru. Namun seiring dengan berjalannya waktu, dalam periode 2010 sampai 2020, akan terjadi percepatan yang luar biasa dalam penerapan nanoteknologi di dunia industri. Selanjutnya pada tahun-tahun berikutnya peluang nanoteknologi akan jenuh, dimana pada saat itu, produk-produk nanoteknologi di pasar sudah sangat massive jumlahnya. Oleh karena itu, pengembangan nanoteknologi harus dilakukan segera pada masa sekarang ini. Jika tidak, maka peluang pengembangan nanoteknologi akan terliwatkan,

dan sebagai konsekuensinya Indonesia akan menjadi negara yang tertinggal dan kalah karena tidak akan mampu bersaing dengan negara-negara lain di dunia ini.



Sumber : *Technolytics*.

Gambar 1.2 Peluang nanoteknologi dalam dunia industri.

Saat ini berbagai macam aplikasi nanoteknologi telah berkembang mulai dari bidang elektronik, kedokteran, farmasi, konstruksi, industri makanan, tekstil, keramik dan lain-lain. Sebagai contoh, perkembangan nanoteknologi dalam dunia komputer telah mengubah tidak hanya ukuran komputer semakin ringkas, namun juga peningkatan kemampuan dan kapasitas yang luar biasa, sehingga memungkinkan penyelesaian program-program raksasa dalam waktu yang singkat. Seperti halnya komputer, produk *hand phone* telah disempurnakan sedemikian rupa dengan nanoteknologi sehingga berharga lebih murah dengan kemampuan dan kapasitas yang jauh lebih baik. Produk-produk seperti nanotekstil, nano keramik, nanocoating, nanofilm, nanofarmasik dan lain sebagainya juga telah mulai merambah dan menyatu ke dalam kehidupan manusia melewati batas-batas status sosialnya. Oleh karena itu, nanoteknologi merupakan tenaga penggerak bagi bisnis-bisnis baru dan Indonesia harus segera mengambil bagian dalam pengembangan dan penerapan nanoteknologi untuk penguatan industri nasional.

Dalam kenyataannya, Indonesia memiliki keunggulan komparatif berupa kekayaan sumber daya alam baik dalam bentuk berbagai mineral alam sebagai bahan baku

pembuatan produk dan sumber energi, maupun keragaman hayati flora dan fauna dalam jumlah yang luar biasa. Namun, sumber daya alam tersebut masih belum ditingkatkan nilai tambahnya, sehingga belum dapat dijadikan sebagai penentu daya saing bangsa. Pemanfaatannya baru berupa eksploitasi dengan kuantitas yang besar dan belum banyak diolah sehingga masih bernilai sangat rendah (misalnya mineral pasir besi, zirkonia, batuan nikel, mangan, kuarsa, tembaga, emas dll). Di lain sisi, letak geografis dan jumlah penduduk yang sangat besar, menjadikan Indonesia menjadi pasar perekonomian yang menjanjikan. Oleh karena itu, pengembangan nanoteknologi harus dapat diarahkan agar dapat mengelola dan meningkatkan nilai tambah secara signifikan bagi sumber daya alam Indonesia sehingga meningkatkan daya saing bangsa.

Kegiatan penelitian dan pengembangan bidang nanoteknologi, sudah dimulai di beberapa lembaga riset Indonesia (LIPI, BATAN, BPPT, LAPAN, MRC, Departemen Perindustrian, Departemen Pertahanan dll) maupun di Perguruan Tinggi (ITB, UI, ITS, Unand, UGM, dll). Kajian RISTEK tentang roadmap nanoteknologi di Indonesia telah dirumuskan berdasarkan pada pemanfaatan sumber daya dan kemampuan teknologi nasional untuk mendukung enam fokus bidang penelitian yang telah dicanangkan, meliputi: Pangan, Kesehatan, ICT, Transportasi, Energi dan Hankam. Namun demikian di samping kendala sarana dan prasarana, kemampuan SDM dan alokasi pendanaan, prioritas litbang nanoteknologi yang sesuai dengan kondisi industri di Indonesia juga masih belum ditentukan.

Sementara itu, Departemen Perindustrian telah membuat Kebijakan Industri Nasional (KIN) yang merumuskan arah kebijakan industri nasional dengan mengelompokkannya menjadi 10 klaster industri yang diprioritaskan guna meningkatkan daya saing. Namun demikian, perkembangan nanoteknologi yang sangat pesat akan mempengaruhi secara signifikan pola persaingan industri di dunia. Industri-industri yang menerapkan nanoteknologi dalam proses produksinya akan mengungguli industri lainnya karena kandungan teknologi, kualitas, kemurahan harga dan keringkasannya. Oleh karena itu, diperlukan sebuah roadmap penerapan nanoteknologi untuk mendukung klaster industri yang telah diprioritaskan.

## **TUJUAN KEGIATAN**

Menyusun roadmap pengembangan dan implementasi nanoteknologi untuk meningkatkan daya saing klaster industri nasional, melalui pemetaan dan analisa faktor internal dan eksternal secara komprehensif dan menyeluruh baik dari sisi teknis maupun ekonomis.

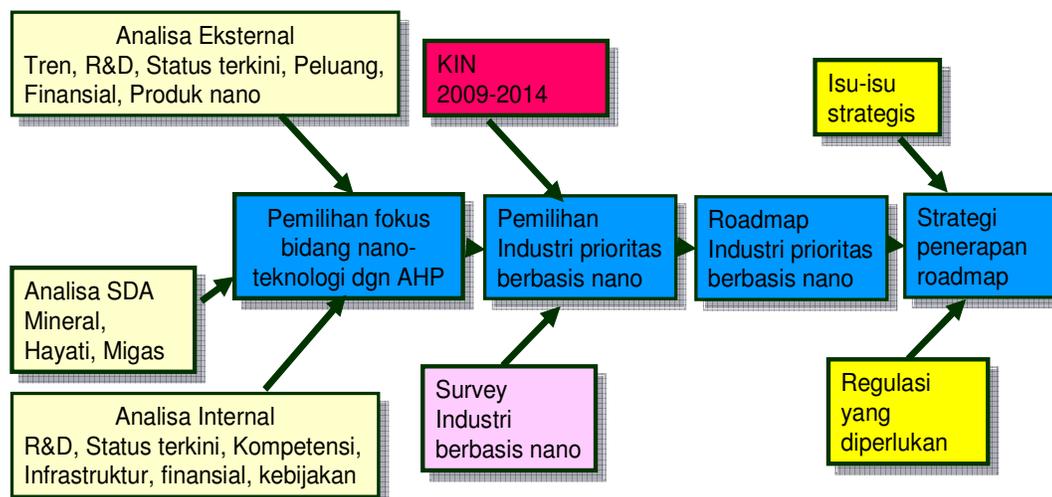
## SASARAN KEGIATAN

Sasaran yang ingin dicapai dengan kegiatan ini adalah :

- Terpetakannya potensi nanoteknologi dunia dan peluang-peluang penerapan di industri global.
- Terpetakannya kemampuan dan status teknologi industri nasional serta peluang penerapan nanoteknologi pada industri nasional.
- Adanya gambaran arah pengembangan industri nasional berbasis nanoteknologi untuk meningkatkan daya saing di pasar global.

## DISAIN RISET

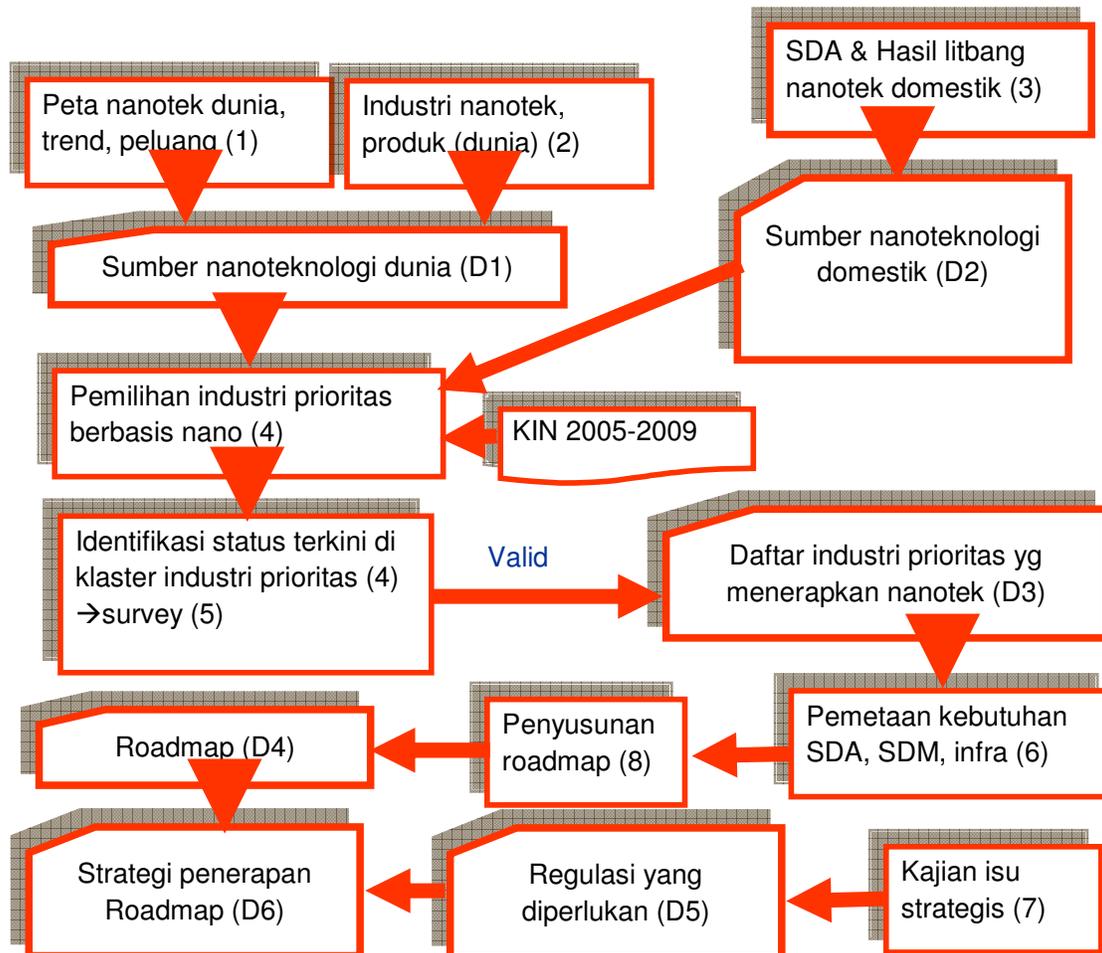
Disain riset pembuatan roadmap pengembangan nanoteknologi dalam rangka peningkatan daya saing industri nasional disajikan pada Gambar 1.3. Pertama-tama dilakukan analisa eksternal yang memberikan gambaran tentang tren pengembangan nanoteknologi dan kondisi terkini aplikasi nanoteknologi dalam dunia industri di dunia. Analisa ini akan menghasilkan sumber data nanoteknologi di dunia seperti ditunjukkan pada Gambar 1.4. Untuk mendapatkan sumber data nanoteknologi domestik, dilakukan analisa internal yang mengidentifikasi dan menganalisa status terkini litbang nanoteknologi dan potensi sumber daya alam di Indonesia. Dari hasil kedua analisa tersebut diperoleh fokus bidang nanoteknologi di Indonesia dan daftar komoditas industri nasional yang menerapkan nanoteknologi yang perlu disurvei untuk mendapatkan informasi status terkini nanoteknologi di industri nasional.



Gambar 1.3. Disain riset road map pengembangan teknologi

Hasil survey akan memberikan jawaban terhadap validasi kondisi penerapan nanoteknologi di industri nasional. Berdasarkan hasil analisa dan perolehan data yang ada, dirumuskan roadmap pengembangan nanoteknologi dengan pendekatan *technology push*,

dimana sumber dan kesiapan teknologi didorong untuk meng-*create* produk-produk yang berdaya saing dan *market pull* yang mendasarkan pada permintaan pasar. Diharapkan kombinasi kedua pendekatan ini dapat menjadikan roadmap tersebut lebih konkrit dan dapat diimplementasikan secara komprehensif dan berkesinambungan.



Gambar 1.4. Tahapan dan *deliverable* (luaran) kegiatan roadmap pengembangan nanoteknologi untuk mendukung industri nasional.

Tahap terakhir dari penyusunan road map ini adalah strategi penerapan roadmap, dimana diperlukan komitmen dari setiap *stakeholder* agar roadmap ini dapat diterapkan dengan baik. Salah satu aspek yang harus diperhatikan adalah pengawasan. Untuk mendukung penerapan roadmap, ada dua hal yang menjadi pertimbangan: 1) isu-isu strategis, yaitu aspek-aspek penunjang dalam penerapan nanoteknologi seperti standarisasi, ekonomi, lingkungan, dan lain sebagainya, dan 2) regulasi, yaitu terkait kebijakan dari pemerintah yang dapat menjamin agar roadmap tersebut dapat berjalan dengan baik secara independen baik dalam hal implementasi maupun pengawasan.

## BAB II

# ANALISA EKSTERNAL

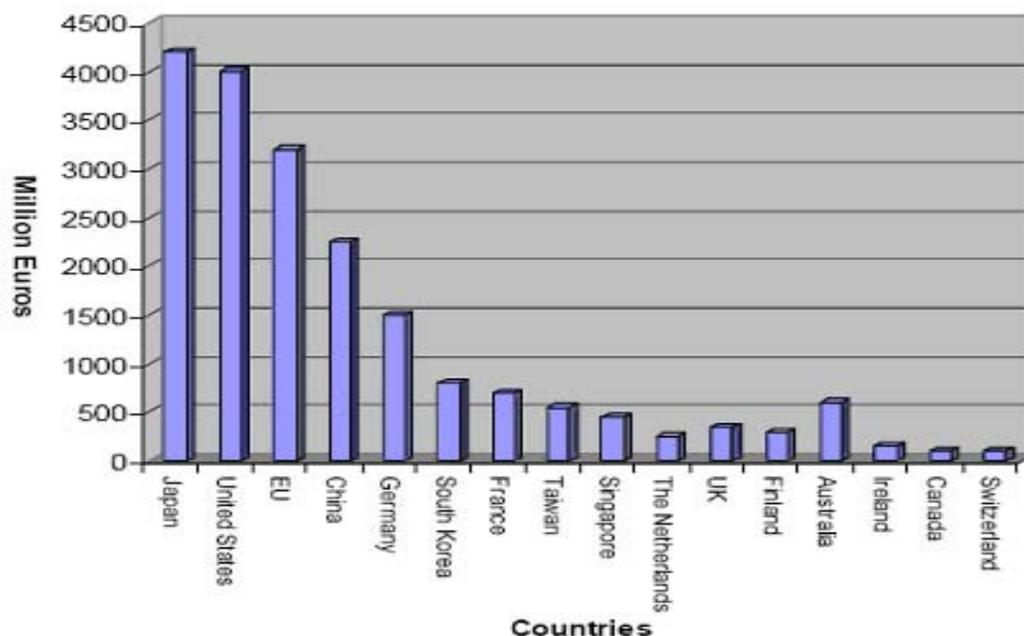
Bab ini membahas kondisi eksternal Indonesia terkait dengan arah pengembangan nanoteknologi dunia, aplikasi nanoteknologi dunia, serta relevansi dengan penerapan nanoteknologi di industri nasional.

### A. ARAH PENGEMBANGAN NANOTEKNOLOGI DI DUNIA

Pada bagian ini akan dipaparkan arah pengembangan nanoteknologi dunia terutama sektor publik berikut strategi dan kegiatan inisiatif, pendanaan, infrastruktur, peta perusahaan di USA, Eropa dan Asia Pasifik dan juga fokus pasar dari pelaku bisnis di Eropa dan Asia-Pasifik. Diharapkan dari pemahaman akan peta kekuatan nanoteknologi di dunia akan dapat membantu bagaimana sikap yang harus diambil oleh Pemerintah Indonesia dan Pelaku Bisnis/Industri Nasional.

Menurut laporan *Technology Transfer Centre-UK* (2007), dari segi pendanaan negara Jepang mengungguli USA dan Uni Eropa bahkan China untuk investasi di bidang Nanoteknologi pada periode tahun 2006- 2010. Khusus untuk kawasan Uni Eropa, pemerintah Jerman terlihat mengungguli semua pendanaan negara-negara Eropa lainnya, dengan total dana sekitar 330 juta Euro per tahunnya. Namun demikian secara keseluruhan Uni Eropa memiliki skema dana hampir 600juta Euro sampai tahun 2013 melalui program FP7. Hal ini membuat Eropa unggul dibanding pemerinatah USA maupun Jepang. Jerman di satu sisi tampaknya sangat serius dalam aktivitas NanoTeknologi. Kondisi lengkap dari status pendanaan di bidang Naoteknologi dunia dapat dilihat pada Gambar 2.1.

Demikian juga negara-negara di Asia Pasifik terlihat mengalokasikan dana yang sangat signifikan untuk kegiatan nanosains dan nanoteknologi. Secara umum kegiatan nanoteknologi di kawasan ini dirancang dalam bentuk sebuah pusat Sains & Teknologi untuk teknologi kunci beberapa bidang seperti; iptek bahan, obat, lingkungan dan *ICT*.



Sumber: *Technology Transfer Centre, 2007*  
 Gambar 2.1 Pendanaan nanoteknologi di dunia 2006-2010, dalam juta Euro

## 1. ARAH PENGEMBANGAN NANOTEKNOLOGI DI AMERIKA SERIKAT

### a. Kebijakan dan Strategi Pelaksanaan

Pemerintah Amerika Serikat dalam menjalankan kebijakan Nanoteknologinya membentuk *The National Nanotechnology Initiative* (NNI) pada tahun 2001. Sampai saat ini NNI telah merangkul 25 lembaga Federal, dimana 13 diantaranya memiliki anggaran khusus dibidang Nanoteknologi. Anggaran untuk tahun 2009 akan dialokasikan sekitar 1,5 milyar USD sehingga berarti total anggaran sejak tahun 2001 menjadi 10 milyar USD.

Tujuan utama NNI adalah: (1) memperluas cakupan sains dan teknik skala nano melalui dukungan litbang; (2) menciptakan infrastruktur yang seimbang dan fleksibel, termasuk juga tenaga kerja terampil; (3) mengkaji implikasi sosial nanoteknologi; dan (4) memberdayakan "koalisi besar" kalangan akademi, industri dan pemerintah untuk menggali potensi dari teknologi baru.

Sasaran kegiatan litbang yang diprogramkan NNI sampai dengan tahun 2015 adalah sebagai berikut :

- 1) Separuh dari *advanced material* baru yang didisain dan proses manufaktur dibangun berdasarkan kontrol pada skala nano.
- 2) Penderitaan akibat penyakit kronis dapat dikurangi secara signifikan.
- 3) Sains dan teknik nanobiosistem menjadi penting bagi kesehatan manusia dan bioteknologi.
- 4) Konvergensi sains dan teknik pada skala nano akan menciptakan pola utama untuk penerapan dan integrasi nanoteknologi dengan biologi, elektronik, medis, pembelajaran dan bidang lainnya.
- 5) Ketahanan *life-cycle* dan *biocompatibility* akan dilakukan pada pengembangan produk baru.
- 6) Pengembangan dan edukasi pengetahuan akan berasal dari skala nano dan bukan skala mikro.
- 7) Bisnis dan organisasi nanoteknologi akan disusun menuju integrasi dengan teknologi, distribusi produksi, edukasi terus menerus, dan pembentukan konsorsium aktifitas tambahan.

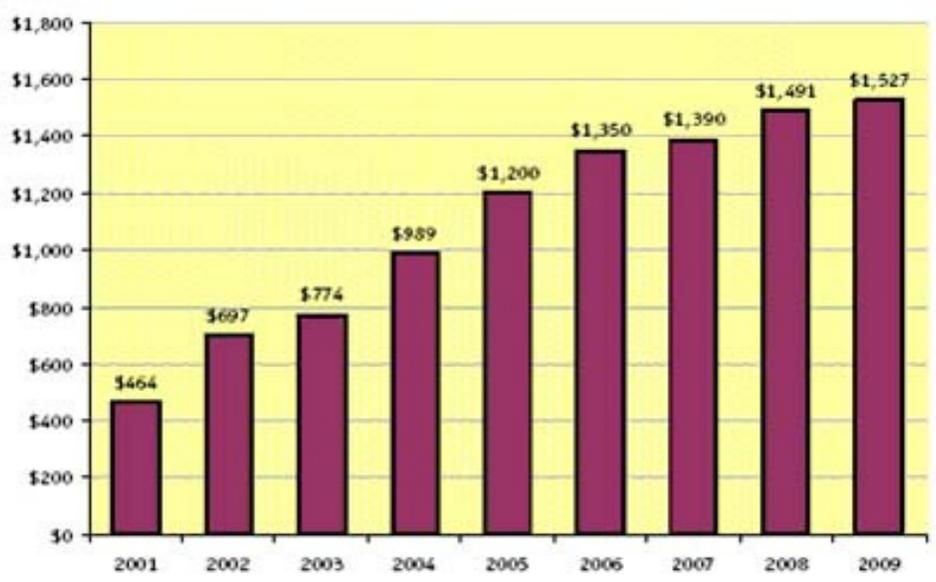
Secara operasional kegiatan NNI dijalankan oleh *National Science and Technology Council (NSTC)* pada komite Teknologi dan sub-komite *Nanoscale Science, Engineering, and Technology (NSET)*. Selanjutnya NSET dibagi menjadi empat *Working Grup* yang menangani secara khusus hal-hal :

- 1) *Global Issues in Nanotechnology (GIN)*, bertugas membantu pemerintah Amerika Serikat dalam forum internasional terkait nanoteknologi
- 2) *Nanotechnology Environment and Health Implication (NEHI)*, mengkoordinasikan aspek *Environment, Health, and Safety (EHS)* antar lembaga
- 3) *Nanomanufacturing, Industry Liaison, and Innovation (NILI)*, mengkoordinasi kolaborasi industri, suport komersialisasi, manufaktur dan alih teknologi
- 4) *Nanotechnology Public Engagement and Communications (NPEC)*, mengkoordinasikan aspek-aspek yang terkait etik dan isu sosial dari nanoteknologi

## **b. Pertumbuhan Investasi di Bidang Nanoteknologi**

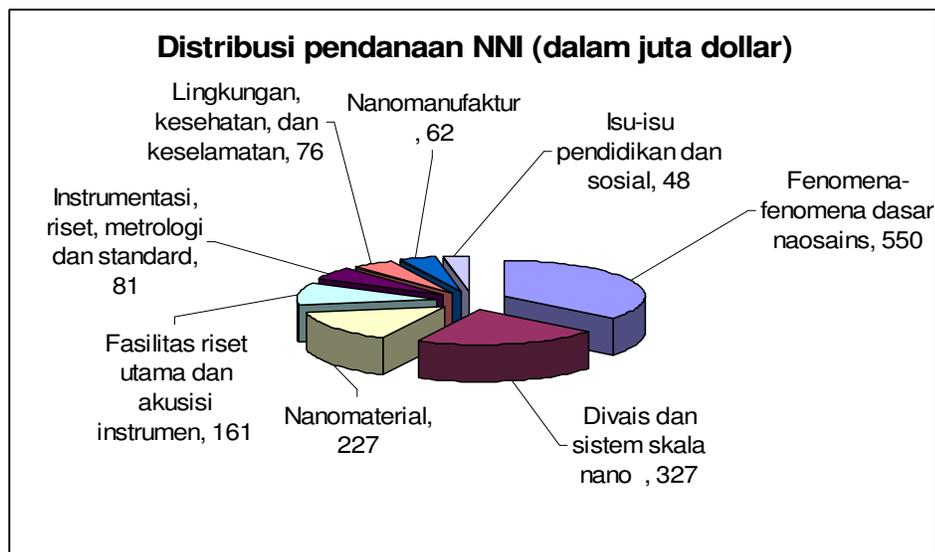
Pertumbuhan investasi pemerintah Amerika Serikat (AS) di bidang nanoteknologi terus meningkat. Pendanaan pemerintah federal di bidang R&D meningkat dari USD 982 juta untuk tahun fiskal 2005 menjadi USD 1,53 Milyar untuk permintaan tahun 2009, atau tumbuh hampir 50%, bahkan 300% jika

dibanding dengan tahun 2001. Gambar 2.2 menunjukkan pola pertumbuhan tersebut di atas.



Gambar 2.2 Pendanaan bersama (dalam juta dollar) dilaporkan sejak terbentuknya NNI (tahun 2008 merupakan estimasi; tahun 2009 merupakan permintaan)

Secara rinci distribusi pendanaan NNI untuk tahun fiskal 2009 dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Distribusi pendanaan NNI (dalam juta dollar)

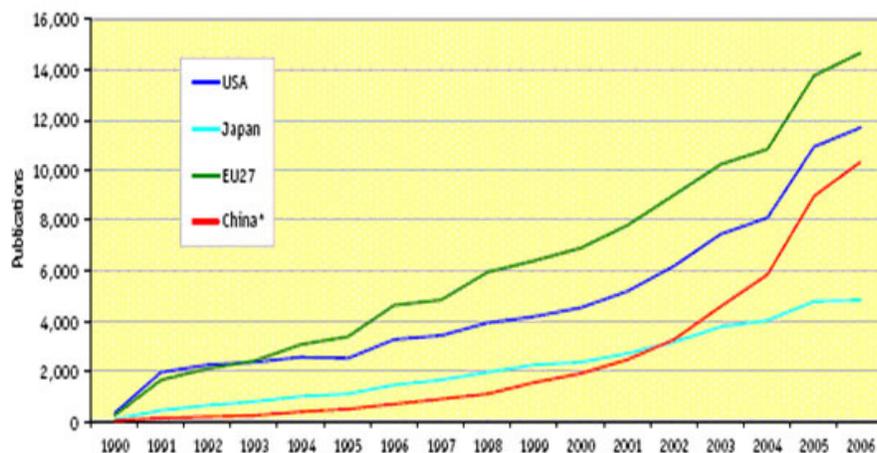
Selanjutnya pada Tabel 2.1 dapat dilihat distribusi pendanaan pada tahun 2009 berdasarkan komponen kegiatan.

Tabel 2.1 Distribusi pendanaan tahun fiskal 2009 berdasarkan komponen kegiatan

Kegiatan/Bidang/Sektor	USD (juta )
Fenomena-fenomena dasar nanosains	550,8
Divais dan sistem skala nano	327,0
Nanomaterial	227,2
Fasilitas riset utama dan akuisisi instrumen	161,3
Instrumentasi, riset, metrologi dan standar	81,5
Lingkungan, kesehatan, dan keselamatan	76,4
Nanomanufaktur	62,1
Isu pendidikan dan social	40,7

### c. Status Publikasi Ilmiah Nanoteknologi

Sebagai salah satu parameter untuk mengukur tingkat kemajuan kegiatan R&D di bidang nanoteknologi, pemerintah Amerika Serikat menggunakan status publikasi dan jumlah paten yang telah diterbitkan. Pada tahun 1990 sampai 2006 (Gambar 2.4), posisi Amerika Serikat untuk publikasi ilmiah menurut *Science Citation Index (SCI)* menduduki peringkat kedua setelah Uni Eropa, diikuti China (termasuk Taiwan) di peringkat ketiga dan Jepang di peringkat keempat.

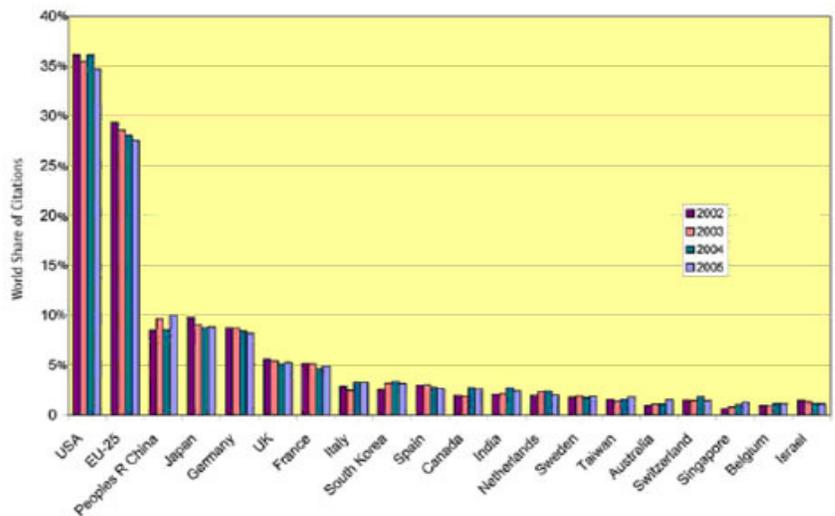
Gambar 2.4 Publikasi nanoteknologi pada *Science Citation Index (SCI)* (Shelton, 2007)

Untuk kasus Amerika Serikat, dari 12.000 publikasi ilmiah yang terbit di jurnal bergengsi seperti *Science*, *Nature* dan *Proceeding of the National Academies of Science* kontribusi publikasi nanoteknologi mencapai 70% pada tahun 2006, diikuti Jerman, Perancis dan Jepang seperti pada Gambar 2.5 (Chen and Roco 2008).



Gambar 2.5 Kontribusi publikasi nanoteknologi (%)

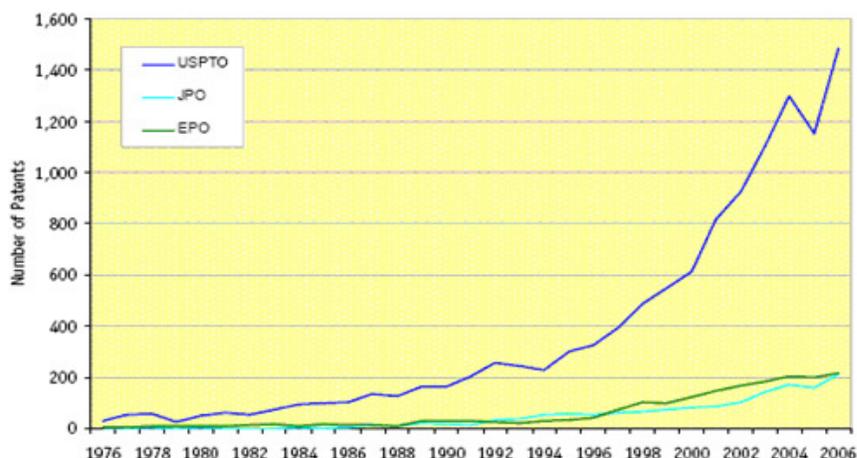
Selanjutnya pada Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa berdasarkan jumlah publikasi per Negara, maka AS menempati urutan pertama dengan kontribusi 35% , diikuti Uni Eropa sekitar 25-27%, lalu China (termasuk Taiwan) dengan 10% , Jepang dan Jerman sekitar 9-10%.



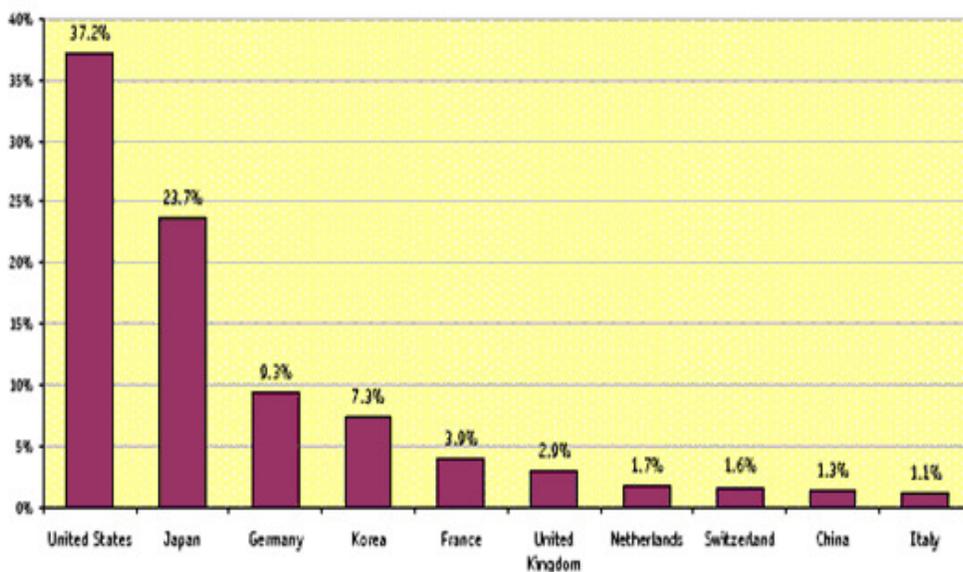
Gambar 2.6. Kontribusi tiap negara untuk publikasi nanoteknologi

### d. Status Paten Nanoteknologi

Dari tahun 1976 hingga 2006 terlihat jumlah paten publikasi USA terus meningkat tajam mencapai 1400 paten di tahun 2006; sementara di Jepang (JPO) dan Eropa (EPO) hanya mencapai 200 paten di tahun 2006 (Gambar 2.7).



Gambar 2.7 Jumlah paten nanoteknologi di tiga negara



Gambar 2.8 Paten terkait nanoteknologi berdasarkan negara

Hal yang menarik terlihat adanya upaya proteksi paten yang sama secara global ketika terlihat adanya peluang penerapan paten secara mendunia. Gambar 2.8 memperlihatkan upaya agresif dari USA untuk melindungi patennya secara internasional diikuti Jepang, Jerman dan Korea dengan pangsa masing-masing

37,2%, 23,7%, 9,3% dan 7,3%. Dalam hal ini China hanya mempunyai pangsa sekitar 1,3% saja dalam upaya melindungi patennya di beberapa Negara.

## 2. ARAH PENGEMBANGAN NANOTEKNOLOGI DI EROPA

### a. Kebijakan Dasar

Kebijakan dasar tentang Nanosains dan Nanoteknologi Negara Uni Eropa tertuang dalam beberapa Dokumen Kunci sebagai berikut :

#### **Komisi Komunikasi Nanosains dan Nanoteknologi**

- *Strategy*, COM(2004)338
- *Action Plan 2005-2009*, COM(2005)243
- *1<sup>st</sup> Impelementation Report 2005-2007*, COM(2007)505

#### **Kesimpulan Konsil pada,**

- *Strategy*, 2605<sup>th</sup> *Council Meeting*, 24 September 2004
- *1<sup>st</sup> Impelementation Report*, 2832<sup>nd</sup> *Council Meeting*, 23 November 2007

#### **Resolusi Parlemen Eropa pada,**

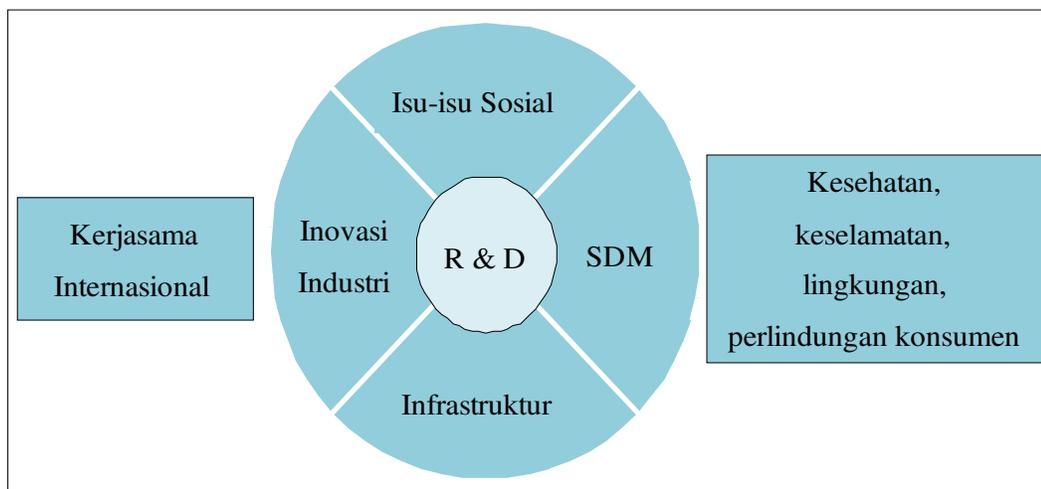
- *Action Plan 2005-2009*, 28 September 2006  
P6\_TA(2006)0392

#### **Pandangan Komite Sosial dan Ekonomi Eropa pada,**

- *Strategy*, OJ C 157, 28.6.2005, p.22
- *Action Plan 2005-2009*, INT/277-CESE 582/2006

### b. Strategi Penerapan

Uni Eropa dalam penerapan Nanoteknologi mempunyai pendekatan seperti terlihat dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Pendekatan penerapan nanoteknologi di Uni Eropa

### 1) Penelitian dan Pengembangan (R&D)

Butir-butir penting dalam strategi mengutamakan R&D yang tercantum di dalam rencana aksi antara lain :

- a) Pemerintahan Uni Eropa memiliki komitmen menginvestasikan dana untuk R&D dengan jumlah tiga kali lipat sampai tahun 2010
- b) Fokus pada transformasi pengetahuan dalam upaya menghasilkan produk dan proses yang lebih mensejahterakan
- c) Mendorong agar program FP7 sukses dengan meningkatkan nilai tambah melalui *critical mass*, kolaborasi antar negara dan kompetisi yang sehat
- d) Koordinasi yang efektif melalui platform OMC dan ERA (*European Research Area*)
- e) Proaktif mengajak publik dan sektor swasta berpartisipasi untuk memperkuat roadmap serta program ke depan

### 2) Membangun Infrastruktur

Ide dasar dalam membangun infrastruktur bersama antar pemerintahan di Uni Eropa memiliki lima kriteria sebagai berikut :

- a) Eropa harus memiliki sistem infrastruktur R&D nanoteknologi yang koheren
- b) Infrastruktur yang ada dan akan dibangun harus mampu memaksimalkan nilai tambah pada infrastruktur yang telah ada dalam rangka membantu program SME (*Small and Medium Enterprise*)
- c) Infrastruktur yang ada harus mampu dipetakan untuk mengidentifikasi kebutuhan yang sangat mendesak

- d) Jika dibutuhkan maka infrastruktur nanoteknologi Skala Eropa harus dibangun untuk memenuhi *critical mass*
- e) Mekanisme pendanaan dapat dilakukan dengan memanfaatkan Bank Investasi Eropa

### 3) Investasi Sumber Daya Manusia (SDM)

Lima langkah strategis untuk investasi SDM nanoteknologi Eropa adalah sebagai berikut :

- a) Mengidentifikasi pendidikan yang diperlukan di bidang nanoteknologi
- b) Mendorong terciptanya kurikulum baru sesuai kebutuhan pengembangan nanoteknologi
- c) Mengintegrasikan keahlian ke dalam satu pelatihan riset seperti pola kewirausahaan
- d) Mengeksplorasi peneliti berdedikasi dengan cara seperti Marie Curie proposal
- e) Menggairahkan peneliti muda dengan memberikan *European Nanotechnology Awards*

### 4) Inovasi Industri

Strategi inovasi industri nanoteknologi Eropa mencakup enam butir :

- a) Mempromosikan kondisi ideal agar pihak industri berinvestasi di bidang nanoteknologi
- b) Menjajagi prospek dan kondisi yang dapat mengoptimalkan peran industri di bidang nanoteknologi
- c) Mengundang *European Investment Bank* dan institusi lain untuk memperkuat basis finansial R&D nanoteknologi
- d) Mendorong terciptanya sistem paten yang lebih efisien
- e) Mengundang negara anggota untuk menilai dan memperbaiki regulasi yang ada dengan fokus pada isu nanoteknologi
- f) Mendorong aksi koordinasi dalam hal metrologi, standar dan norma di bidang nanoteknologi

### 5) Integrasi Dimensi Sosial

Hal yang penting dalam penerapan nanoteknologi adalah bagaimana melakukan tahapan integrasi nanoteknologi ke dalam masyarakat luas. Strategi yang dilakukan tercakup dalam lima butir sebagai berikut :

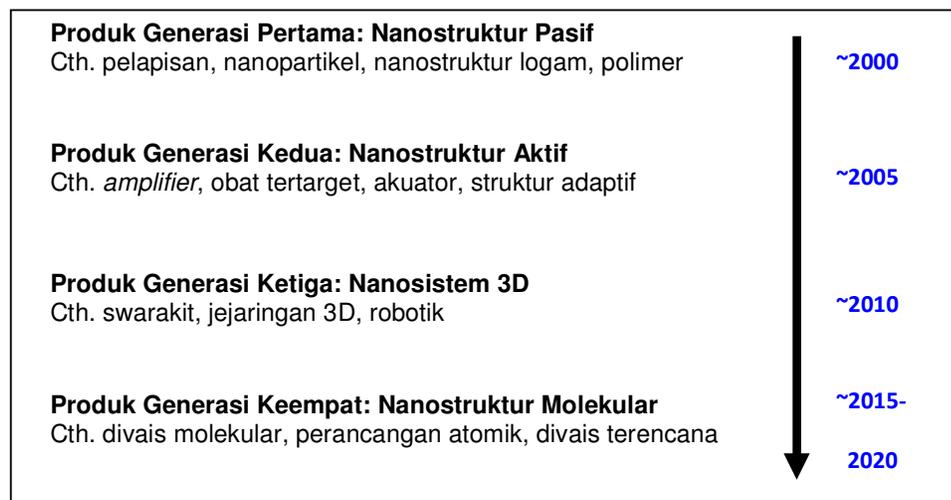
- a) Pentingnya melibatkan aspek sosial ke dalam aktivitas R&D nanoteknologi

- b) Pemerintah Eropa harus lebih terbuka dan proaktif terkait R&D nanoteknologi
- c) Dialog dengan masyarakat luas dan konsumen produk nano
- d) Komisi Eropa harus menekankan aspek etik dalam penerapan nanoteknolog
- e) Pengembangan nanoteknologi yang lebih terbuka terhadap publik

## 6) Kerjasama Internasional

Hal-hal penting terkait isu kerjasama internasional di bidang nanoteknologi yang akan ditempuh Uni Eropa adalah :

- a) Mendorong terciptanya dialog tentang isu kesehatan masyarakat, keamanan, lingkungan, perlindungan konsumen , kajian risiko, metrologi dan norma
- b) Menjamin akses negara berkembang sehingga tidak terjadi "politik diskriminasi pengetahuan"
- c) Kerjasama informasi terkait aspek sains, ekonomi dan sosial dari nanoteknologi
- d) Mendefinisikan suatu "*code of good conduct*" terkait tanggung jawab pengembangan nanoteknologi



Gambar 2.10 Empat generasi aplikasi nanoteknologi

## B. APLIKASI NANOTEKNOLOGI DUNIA

Aplikasi nanoteknologi memiliki empat tahap generasi produk seperti yang dapat dilihat pada Gambar 2.10.

### Generasi pertama: nanostruktur pasif

Generasi pertama antara lain adalah *coatings* dengan nanostruktur, dispersi nanopartikel, dan material besar – logam nanostruktur, polimer dan keramik. Fokus penelitian pada generasi ini adalah pada material nanostruktur serta alat pengukur dan pengontrol proses skala nano. Contoh penelitian antara lain pada bidang nanobiomaterial, nanomekanik, sintesis nanopartikel, katalis, pembuatan material *advanced* serta peralatan simulasi dan eksperimen lintas disiplin. Sebagian besar negara industri telah memperkenalkan produk generasi ini, seperti cat dan kosmetik (Australia), komponen mobil (Jerman, Jepang, USA), *coating* nanostruktur dan filter (AS).

### Generasi kedua: nanostruktur aktif

Generasi kedua antara lain adalah transistor, *amplifier*, *targeted drugs and chemical*, *actuators* dan *adaptive structure*. Fokus penelitian pada generasi ini adalah pada nanobiosensor, peralatan medis molekular, energi (konversi dan penyimpanan), pemodelan dan simulasi berlapis serta nanoelektronik, instrumentasi skala nano dalam 3D, implikasi sosial nanoteknologi, dan lain-lain. Konvergensi nanoteknologi dengan IT, biologi modern dan ilmu sosial menyebabkan semakin kuatnya penemuan dan inovasi pada hampir seluruh bidang ekonomi. Pelaku utama pada pasar ini adalah Negara-negara pasifik terutama Jepang, Korea dan Taiwan.

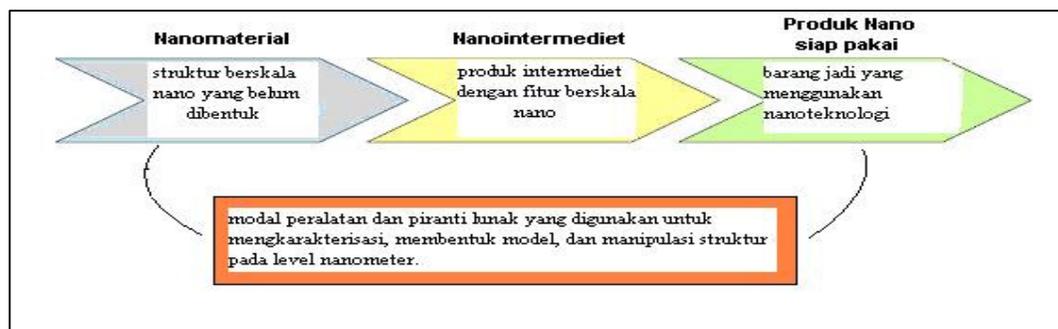
### Generasi ketiga: nanosistem 3D

Diperkenalkannya berbagai macam teknik sintesis dan perakitan, seperti, *bioassembly*, *networking* pada skala nano dan arsitektur berlapis, menyebabkan fokus penelitian bergeser pada nanostruktur heterogen dan teknik sistem supramolekular (*supramolecullar system engineering*). Termasuk di dalamnya adalah, jaringan buatan, *directed multiscale selfassembly*, sistem sensorial, interaksi kuantum dalam sistem skala nano, peralatan nanostruktur fotonik, peralatan *scalable plasmonic*, pemrosesan mekano-kimia, sistem elektromekanik skala nano, serta terapi sel tertarget dengan peralatan nano. AS telah memiliki keunggulan pada penelitian sistem nano heterogen dan sistem pada nanosistem karena kekuatan pendanaan dan kekuatan bidang medis yang dimilikinya.

### Generasi keempat: nanosistem molekular yang heterogen

Pada generasi ini, tiap-tiap molekul dalam nanosistem telah memiliki struktur dan peran yang spesifik. Molekul-molekul akan digunakan sebagai alat, dan dari pembuatan dan pembangunan strukturnya, akan muncul kegunaan baru yang fundamental. Generasi ini akan semakin mendekati cara kerja sistem biologis. Fokus penelitian adalah pada

manipulasi atomik untuk perancangan sistem molekul dan supramolekular, dinamik molekul tunggal, mesin molekular, perancangan sistem molekular yang beragam, interaksi antara cahaya dan materi yang terkontrol dalam kaitannya dengan konversi energi, kontrol kuantum, dan lain-lain. Sebagai contoh antara lain menciptakan molekul-molekul multifungsi, katalis untuk sintesis dan pengontrolan nanostruktur, intervensi pada skala sub-sel, *biomimetic* untuk dinamik dan pengontrolan sistem kompleks. Negara-negara berkembang telah melakukan penelitian pendahuluan pada beberapa topik di atas yang akan menjanjikan dalam jangka panjang.



Gambar 2.11 Rantai pembuatan produk nano

Pembuatan dan pengembangan partikel nano sebagai bahan baku produk nano adalah tahap awal dari rantai pengembangan produk nano. Karakterisasi nanopartikel (nanotube, fullerene, material nanopori, dan lain-lain.) juga diperlukan untuk mendapatkan pemahaman dan kemampuan mengontrol sintesis dan aplikasi nanopartikel. Rantai berikutnya adalah nanointermediet, yaitu produk intermediet dengan fitur-fitur skala nano (contoh: *coating*, *chip* memori, komponen optis, kabel superkonduktif, dll.). Rantai paling akhir adalah produk dan barang jadi yang di dalam produk tersebut atau dalam pembuatannya dimasukkan unsur nanoteknologi (mobil, pakaian, peralatan elektronik jadi, obat-obatan, makanan, dan lain-lain). Selama proses, diperlukan *Nanotools* yaitu berupa peralatan dan software yang digunakan untuk visualisasi, manipulasi dan model dalam skala nano sehingga proses pembuatan suatu material menjadi lebih baik. Beberapa peralatan yang digunakan seperti AFM (*atomic force microscopes*), *nanoimprint lithography equipment*, *nanomanipulators*, dan lain-lain.

Tabel 2.2 Permodalan perusahaan berbasis nanoteknologi

Negara Bagian	Perusahaan Nano teknologi Baru	Perush Nanoteknologi Baru dg Modal Ventura	Jumlah Modal Ventura untuk Perusahaan Nanoteknologi
Alabama	2	0	0
Arizona	5	1	40
Arkansas	2	0	0

California	42	13	447
Colorado	6	1	32
Connecticut	2	0	0
Delaware	1	0	0
Florida	7	1	4
Georgia	2	2	41
Illinois	9	6	54
Iowa	1	1	2
Kansas	2	0	0
Kentucky	1	0	0
Maryland	3	1	11
Massachusetts	25	7	244
Michigan	12	2	27
Minnesota	7	2	5
Missouri	3	1	20
New Jersey	7	2	50
New Mexico	10	2	46
New York	13	2	37
North Carolina	5	2	8
Ohio	5	1	16
Oklahoma	3	0	0
Pennsylvania	12	4	97
Rhode Island	2	0	0
Tennessee	8	0	0
Texas	17	4	91
Utah	1	0	0
Virginia	7	0	0
Washington	2	2	10
Wisconsin	4	3	38
Wyoming	2	0	0
<b>Total</b>	<b>230</b>	<b>60</b>	<b>1324</b>

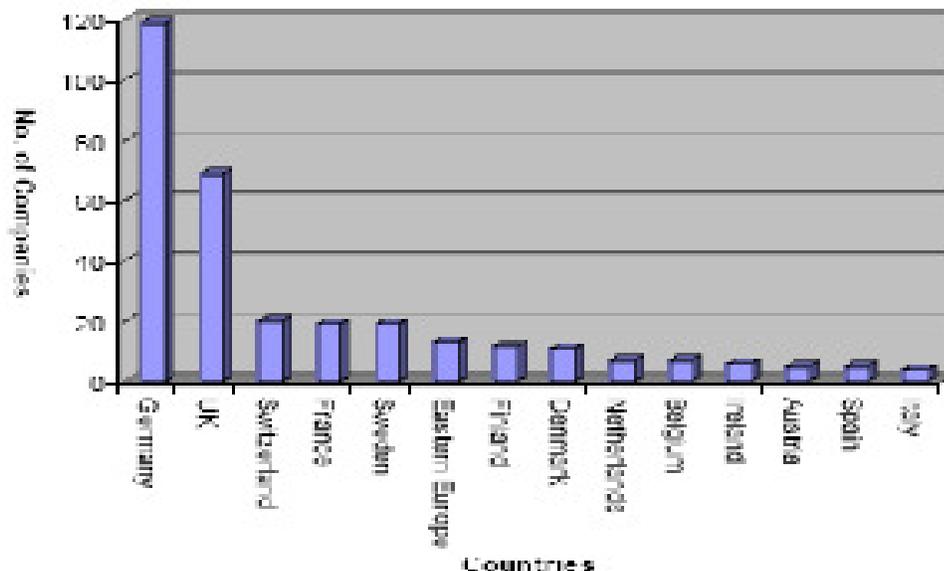
Sebuah contoh dari rantai pembuatan produk nano bermula dari nanomaterial (nanopartikel *clay*) lalu nanointermediet (material nanokomposit yang terbuat dari nanopartikel *clay*) hingga ke produk nano (mobil dengan bodi yang terbuat dari material nanokomposit). Semakin mendekati rantai paling akhir, produk nano semakin memiliki nilai tambah dan nilai ekonomis produk nano akan semakin besar.

## 1. KOMERSIALISASI DAN INOVASI NANOTEKNOLOGI DI AS

Dampak dari nanoteknologi terhadap kegiatan komersial di USA dapat dilihat dengan mengevaluasi jumlah perusahaan yang bergerak, baik dalam pengertian "pure play" maupun "integrator", jumlah perusahaan *start-up*, dan korporat R&D serta *Venture Capital* (VC). Tabel 2.2 memperlihatkan sebaran perusahaan baru dengan basis nanoteknologi serta modal ventura dari tahun 1995-2006 per Negara bagian di USA. Kegiatan komersialisasi didominasi oleh negara bagian California, Massachussets, Pennsylvania dan Texas.

## 2. PERUSAHAAN DAN PELUANG BISNIS NANOTEKNOLOGI DI UNI EROPA

Trend *market volume* sampai 2015 di bidang nanoteknologi terus meningkat hingga 1 trilyun Euro. Kegiatan tersebut paling tidak didukung oleh sekitar 300 perusahaan di seluruh Eropa, dimana Jerman menguasai sepertiga pangsa pasar tersebut, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.12



Gambar 2.12 Total perusahaan nanoteknologi di Eropa pada tahun 2007

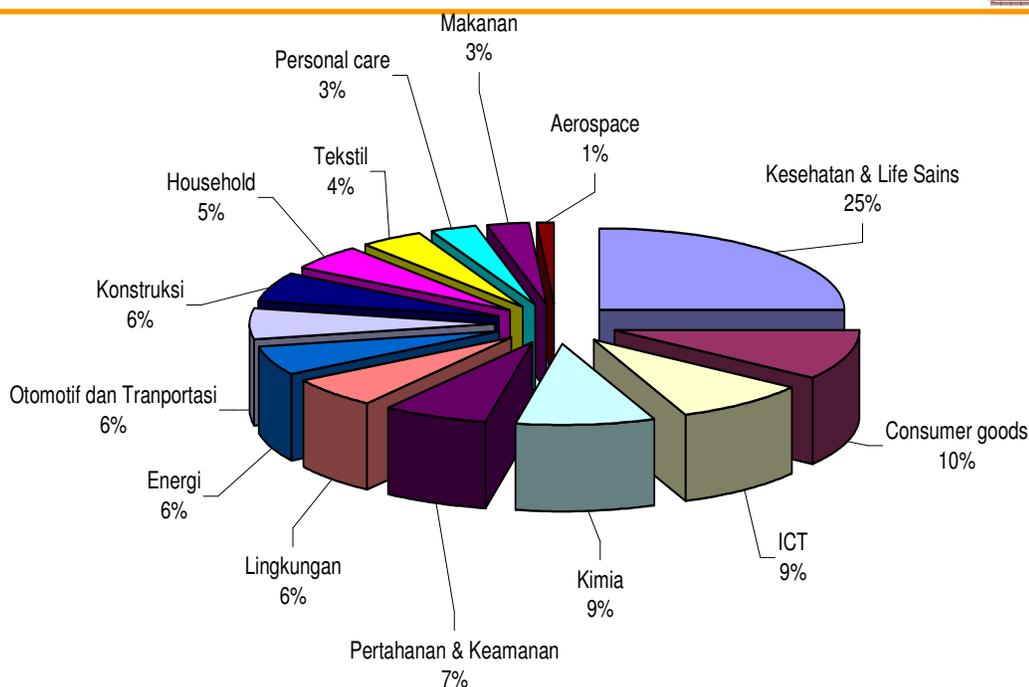
Jerman dan UK menjadi pemain kunci di Eropa dalam hal nanoteknologi dalam skala *Small Medium Enterprise* atau SME dan investasi bisnis besar. Kegiatan R&D nanoteknologi Jerman di dukung perusahaan skala multinasional seperti; *Inferon*, *Daimler Chrysler*, *Schott*, *Carl Zeiss*, *Siemens*, *Osram*, *BASF*, *Bayer* dan *Henkel*.

### 3. FOKUS APLIKASI ANOTEKNOLOGI DI EROPA

Komoditas bidang kesehatan dan ilmu hayati menjadi prioritas pada penerapan nanoteknologi Eropa dengan pangsa pasar 25%, diikuti dengan kebutuhan sehari-hari 10% lalu teknologi informasi-komunikasi (ICT) 9% dan bidang Kimia 9%. Sektor tekstil atau nano tekstil hanya memiliki pangsa 3%. Gambar 2.13 menjelaskan kondisi tersebut.

Tabel 2.3 Fokus aplikasi pasar nanoteknologi di Eropa meliputi berbagai Bidang dengan skala prioritas

No	Komoditas Industri	Persentase (%)
1	Kesehatan & ilmu hayati	25
2	Kebutuhan sehari-hari	10
3	Teknologi informasi-komunikasi (ICT)	9
4	Kimia	9
5	Pertahanan & Keamanan	7
6	Lingkungan	6
7	Energi	6
8	Otomotif dan Transportasi	6
9	Konstruksi	6
10	Peralatan rumah tangga	5
11	Tekstil	4
12	<i>Personal care</i>	3
13	Makanan	3
13	<i>Aerospace</i>	1



Gambar 2.13 Fokus pasar perusahaan aplikasi nanoteknologi di Eropa

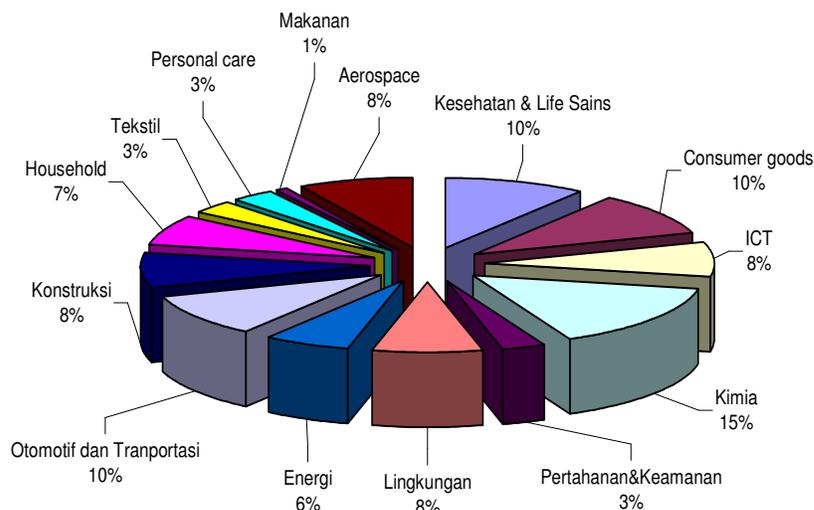
#### 4. FOKUS APLIKASI NANOTEKNOLOGI DI ASIA PASIFIK

Fokus aplikasi pasar nanoteknologi meliputi berbagai bidang dengan skala prioritas seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Fokus pasar aplikasi nanoteknologi di Asia Pasifik

No	Komoditas Industri	Persentase (%)
1	Kesehatan & ilmu hayati	10
2	Kebutuhan sehari-hari	10
3	Teknologi Informasi-	8
4	Kimia	15
5	Pertahanan & Keamanan	3
6	Lingkungan	8
7	Energi	6
8	Otomotif dan Transportasi	10
9	Konstruksi	8
10	Household	7
11	Tekstil	3
12	Personal care	3

1.3	Makanan	1
1.4	Aerospace	8



Gambar 2.14 Fokus pasar perusahaan aplikasi Nanoteknologi di Asia Pasifik

### C. RELEVANSI DENGAN PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI NASIONAL

Dari paparan di atas dapat dilihat bahwa pengembangan dan fokus aplikasi nanoteknologi di Eropa dan Asia Pasifik memiliki arah yang berbeda. Negara-negara Uni Eropa lebih mengutamakan komoditas bidang kesehatan dan ilmu hayati, kebutuhan sehari-hari, teknologi informasi-komunikasi (ICT) dan kimia. Sementara komoditas bidang pertahanan, lingkungan serta energi menjadi prioritas berikutnya. Negara-negara Asia Pasifik mengutamakan komoditas bidang kimia, kesehatan dan ilmu hayati, kebutuhan sehari-hari, otomotif dan transportasi. Sementara teknologi informasi-komunikasi (ICT), lingkungan dan energi berada pada prioritas berikutnya.

Berdasarkan volume pasar nanoteknologi dunia dapat diketahui bahwa pangsa pasar tekstil berbasis nanoteknologi meningkat menjadi \$ 13,6 milyar pada tahun 2007. Pasar Amerika Serikat untuk *nanotech tools* diproyeksikan meningkat sampai 30% per tahun pada tahun 2008 sebesar \$ 900 juta dan meningkat kembali 3 kali lipat pada tahun 2013. Total pangsa pasar dari nanoelektronik mencapai \$ 1,7 juta pada tahun 2005 dan diprediksi akan mencapai \$ 4,219 juta pada tahun 2010. Pangsa pasar nanofood akan

meningkat 30,94% dari 2006 sampai 2010 dan akan mencapai nilai \$ 20,40 milyar pada tahun 2010. Pada tahun 2012 pangsa pasar diharapkan akan mencapai \$ 115 milyar.

Amerika Serikat menguasai bagian terbesar dari investasi global pada nanoteknologi. Pangsa pasar Amerika Serikat sebesar 28% pada tahun 2005, diikuti Jepang dengan 24%. Pangsa pasar Eropa Barat juga mencapai seperempat bagian pangsa pasar dunia, terutama berasal dari investasi negara besar seperti Jerman, Inggris dan Prancis. Negara lainnya seperti China, Korea Selatan, Kanada dan Australia memiliki bagian kecil dari pangsa pasar dunia.

Pada tahun 2005, nanomaterial, terutama nanopartikel dan nanokomposit, mendominasi pasar nanoteknologi, yaitu 86% pasar. *Nanotools* sebesar 10% dan peralatan-peralatan nano sebesar 4%. Mencermati semua kecenderungan dunia, potensi dan peluang serta tantangan tersebut maka mau tidak mau Indonesia harus segera ikut berlomba menerapkan nanoteknologi ke dalam produk, proses serta kegiatan industrinya.

## BAB III

# ANALISA INTERNAL

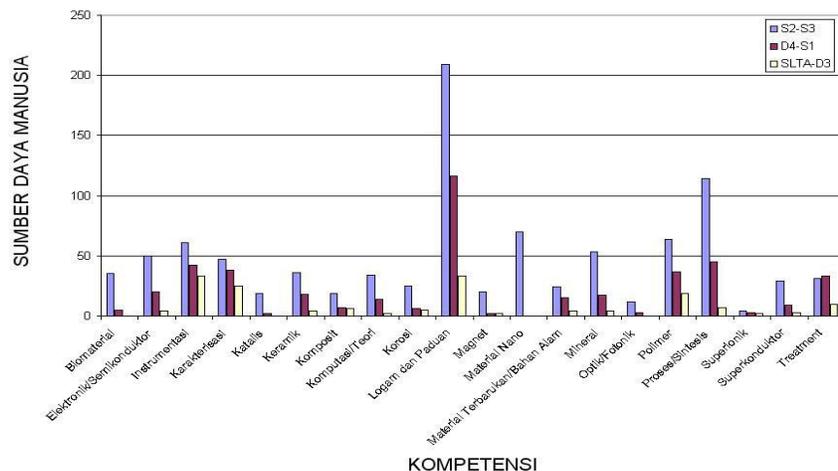
Bab ini akan membahas kondisi internal Indonesia dalam kesiapan penguasaan nanoteknologi di Indonesia, dikaitkan dengan potensi sumber daya alam serta kebijakan pemerintah untuk implementasi nanoteknologi di berbagai sektor.

### A. KESIAPAN PENGUASAAN NANOTEKNOLOGI DI INDONESIA

Kesiapan suatu negara dalam proses penguasaan dan penerapan nanoteknologi dapat dilihat dari beberapa hal seperti ketersediaan SDM, infrastruktur penunjang riset, pendanaan, ketersediaan sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan, ketersediaan pasar serta kebijakan pemerintah.

#### 1. KETERSEDIAAN SDM IPTEK NANOTEKNOLOGI

Hasil survey dari Kemenegristek yang dimodifikasi menunjukkan bahwa sejak tahun 2005 (sejak terbentuknya Masyarakat Nanoteknologi Indonesia, MNI) hingga kini telah terdapat sekurangnya 70 periset di bidang Iptek Nano. Sehingga SDM iptek Nano menjadi urutan ketiga terbesar setelah SDM dengan kompetensi logam & paduan, kemudian diikuti SDM Proses Sintesis dan ketiga SDM Material nano/Iptek Nano. Diharapkan kekuatan yang sedang muncul ini dapat disinergikan dalam bentuk program riset dan inovasi skala industri.



Gambar 3.1 Peta kompetensi SDM Nanoteknologi diantara SDM Iptek lainnya

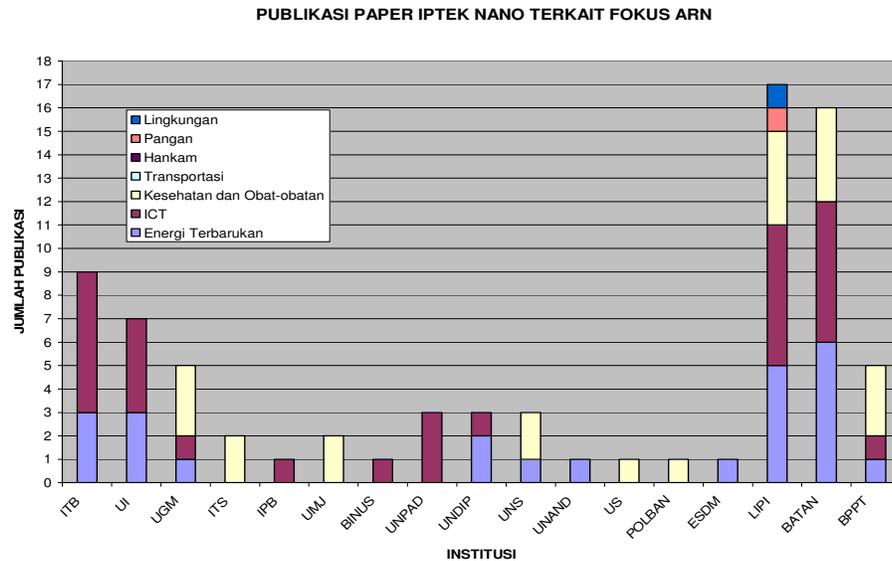
Tabel 3.1 Distribusi SDM Ristek terkait Penelitian Bahan

Kompetensi	SDM			
	S2-S3	D4-S1	SLTA-D3	Jumlah
Biomaterial	35	5		40
Elektronik/Semikonduktor	50	20	4	74
Instrumentasi	61	42	33	136
Karakterisasi	47	38	25	110
Katalis	19	2		21
Keramik	36	18	4	58
Komposit	19	7	6	32
Komputasi/Teori	34	14	2	50
Korosi	25	6	5	36
Logam dan Paduan	209	116	33	358
Magnet	20	2	2	24
Material Nano	70			70
Material Terbarukan/Bahan Alam	24	15	4	43
Mineral	53	17	4	74
Optik/Fotonik	12	3		15
Polimer	64	37	19	120
Proses/Sintesis	114	45	7	166
Superionik	4	3	2	9
Superkonduktor	29	9	3	41
Treatment	31	33	10	74

## 2. PUBLIKASI HASIL LITBANG NANOTEKNOLOGI

Dari hasil studi dan survey literatur dengan sumber Nano Letters Indonesia dan Jurnal Sains Materi-BATAN untuk kurun waktu 2005-2007 diperoleh data sebaran publikasi terkait Iptek Nano seperti pada Gambar 3.2. Publikasi yang ada

dapat diklasifikasikan sesuai fokus riset Agenda Riset Nasional (ARN). Untuk bidang ICT terdapat 30 makalah/topik riset, Energi Terbarukan 24 makalah, bidang Kesehatan dan Obat-obatan 21 makalah, bidang pangan 1 makalah dan lingkungan 1 makalah.



Gambar 3.2 Peta publikasi nanoteknologi periode 2005-2008 dikaitkan dengan 6 fokus Agenda Riset Nasional(ARN)

### 3. PENGUASAAN TEKNOLOGI PEMBUATAN NANOPARTIKEL

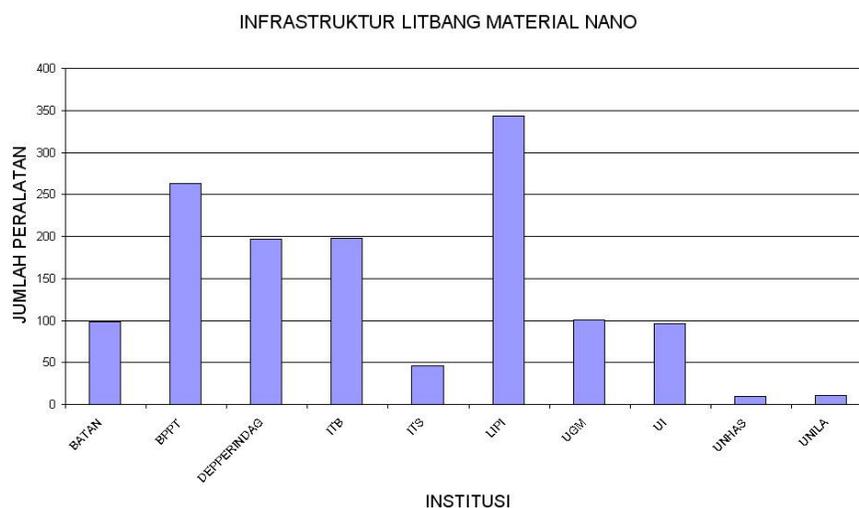
Dari sebuah laporan riset mengenai analisa kebutuhan teknologi, diperoleh bahwa untuk memproses agar bahan memiliki struktur nano, khususnya nanopartikel [BCC-Research,2006], ada beberapa metoda yang dapat digunakan.

- a) Pemrosesan fasa gas
  - Kondensasi gas dengan penguapan termal
  - Penguapan vakum dengan cairan (*Vacuum Evaporation on Running Liquids, VERL*)
  - Sintesis plasma termal
  - Sintesis pembakaran
- b) Pemrosesan kimia basah
  - Presipitasi kimia
  - Pemrosesan hidrotermal
  - Pemrosesan sol-gel
- c) Alur proses sintesa sol-gel
  - Sintesis termokimia
  - Sintesis sonokimia
  - Kavitasi hidrodinamik

- d) Pemrosesan keadaan padat
  - *High-Energy Milling*
  - Sintesis mekanokimia
- e) Pembuatan dispersi stabil
- f) Nanopartikel swarakit
  - Kuantum dot untuk sel surya
  - Perancangan biotemplat nanopartikel anorganik untuk serat tekstil
  - Pendekatan partikel emas yang tersusun
  - Perancangan nanolaminasi dari misel

Berdasarkan informasi yang ada, dari enam metoda tersebut, metoda a) sampai d) pada umumnya telah mampu dikuasai oleh peneliti di beberapa LPND dan Universitas. Untuk metoda a) KIM-LIPI, PTBIN dan PTAPB-BATAN serta Fisika-ITB menjadi pemain utama seperti dapat dilihat pada beberapa laporan penelitian yang ada. Untuk Metoda b) Fisika-UI, Kimia-UI dan Fisika Material-ITB menguasai metoda ini, disamping PTBIN-BATAN. Untuk metoda c) IPB, ITB dan PTBIN banyak terlibat dalam penelitian ini. Untuk metoda d) Fisika-UI, Metalurgi-UI dan PTBIN-BATAN serta Fisika-LIPI berperan besar dalam sosialisasi metoda ini. Terakhir metoda e) dan f) saat ini belum banyak digeluti oleh para peneliti dan institusi yang ada. Hanya Fisika –ITB bekerja sama dengan Lembaga riset Australia diketahui melakukan Litbang ini.

#### 4. INFRASTRUKTUR PENDUKUNG LITBANG



Gambar 3.3 Infrastruktur Litbang Material Nano

Tabel 3.2. Infrastruktur Pendukung Litbang nanoteknologi

Pusat	Institusi	Jumlah Peralatan Litbang
BAPETEN	BAPETEN	1
PTBN	BATAN	23
PTRKN	BATAN	1
PTBIN	BATAN	72
PATIR	BATAN	1
PTNBR	BATAN	1
PTAPB	BATAN	48
MATERIAL	BPPT	12
LSDE	BPPT	53
LUK	BPPT	95
STP	BPPT	103
BBIK	DEPPERIN	172
BBILM	DEPPERIN	25
FISIKA	ITB	16
KIMIA	ITB	3
TEKNIK MATERIAL	ITB	40
TEKNIK PERTAMBANGAN	ITB	139
FISIKA	ITS	9
KIMIA	ITS	7
TEKNIK FISIKA	ITS	6
TEKNIK KIMIA	ITS	7
TEKNIK MESIN	ITS	17
P2F	LIPi	209

P2K	LIPI	27
P2M	LIPI	107
KIMIA	UGM	11
TEKNIK KIMIA	UGM	90
FISIKA-MIPA	UI	36
TEKNIK MESIN	UI	60
TEKNIK MESIN	UNHAS	10
KIMIA	UNILA	5
TEKNIK MESIN	UNILA	6

## B. POTENSI SUMBER DAYA ALAM

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara di dunia yang memiliki berbagai sumber daya alam (SDA) berupa sumber daya migas, tambang, sumber daya hayati sampai sumber daya energi. Sistem pengelolaan SDA menjadi sangat penting dalam rangka mewujudkan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Pentingnya SDA dapat dilihat dari peranannya dalam perekonomian nasional. Sebagai salah satu faktor penting dalam pertumbuhan ekonomi, SDA telah memberikan kontribusi sebesar 30 % terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) pada tahun 2001, dan sebesar 57,1 % terhadap penyerapan tenaga kerja.

Pengelolaan SDA tak terbarukan seperti bahan tambang, mineral, dan migas sebaiknya diarahkan untuk tidak dikonsumsi secara langsung, melainkan diperlakukan sebagai input untuk proses produksi berikutnya yang dapat menghasilkan nilai tambah yang optimal. Hasil atau pendapatan yang diperoleh dari pengolahan SDA ini diarahkan untuk percepatan pertumbuhan ekonomi dengan diinvestasikan pada sektor-sektor lain yang produktif. Sentuhan nanoteknologi pada SDA diperkirakan mampu menghasilkan nilai tambah yang berlipat ganda.

## 1. KEUNGGULAN KOMPARATIF DAN KOMPETITIF

Suatu bangsa memiliki keunggulan daya saing bila sektor-sektor industri dan ekonomi bangsa tersebut mampu menghasilkan barang dan jasa yang kompetitif. Karakteristik barang dan jasa yang kompetitif adalah kualitasnya unggul, harga relatif murah, dan volume produksinya dapat memenuhi kebutuhan konsumen, baik di pasar domestik maupun global. Keunggulan daya saing suatu bangsa dapat dikembangkan melalui dua cara yaitu:

- Dengan memproduksi barang dan jasa yang tingkat permintaannya tinggi dan telah diproduksi oleh bangsa-bangsa lain, namun diproduksi secara lebih kompetitif, salah satunya dengan nanoteknologi.
- Dengan memproduksi barang dan jasa yang tidak bisa atau sedikit diproduksi oleh bangsa-bangsa lain, tetapi sangat dibutuhkan oleh pasar global. SDA lokal yang menjadi ciri khas Indonesia dapat diproduksi dengan nanoteknologi untuk konsumsi pasar global.

Dengan demikian ini berarti merupakan pengembangan keunggulan kompetitif atas dasar keunggulan komparatif yang dimiliki. Sebagai negara maritim dan kepulauan terbesar di dunia dengan potensi kekayaan alam yang cukup besar dan lahan pertanian cukup luas, Indonesia dapat mengembangkan keunggulan kompetitifnya melalui dua cara tersebut. Saat ini dengan jumlah penduduk dunia 6,3 miliar, krisis pangan, krisis energi, dan krisis SDA lainnya sudah sering terjadi. Harga hampir semua komoditas SDA mulai dari minyak sampai ke CPO sempat meningkat secara dramatis mencapai yang tertinggi sepanjang sejarah.

Oleh sebab itu, bangsa yang memiliki kekayaan SDA akan mampu menjadi bangsa yang kompetitif, maju, dan makmur. Jika dimiliki kemampuan mentransformasi kekayaan alam sebagai keunggulan komparatif menjadi keunggulan kompetitif misalnya dengan nanoteknologi, permasalahan bangsa akan dapat terpecahkan. Hal ini karena sektor-sektor industri dan ekonomi berbasis SDA (mineral tambang, migas dan sumber daya hayati) yang kompetitif akan membuat Indonesia berdaya saing di pasar domestik dan global. Sudah saatnya Indonesia segera untuk mengembangkan nanoteknologi berbasis sumber daya alam lokal, mengingat pasar produk nanoteknologi dunia akan mencapai titik jenuh pada tahun 2020.

## 2. POTENSI SUMBER DAYA MINERAL TAMBANG

Dari sektor pertambangan Indonesia memiliki potensi sumber daya alam yang cukup besar, seperti pada Tabel 3.3. Terdapat lima bahan tambang utama yang kandungannya cukup besar di Indonesia yaitu tembaga, emas, perak, nikel dan kobalt. Tanpa mengabaikan material logam yang lainnya, kelima material tersebut berpotensi untuk lebih dikembangkan dengan sentuhan teknologi. Salah satu teknologi terkini yang mampu menaikkan nilai jual mineral tambang secara dramatis adalah dengan nanoteknologi.

Pengembangan nanoteknologi pada material logam sudah cukup banyak diterapkan, khususnya pada nanopartikel emas dan perak untuk aplikasi sensor dan farmasi. Sedangkan untuk tembaga, nikel dan kobalt dapat dikembangkan sebagai nanokatalis pada berbagai industri kimia. Pada material pasir besi aplikasi nanoteknologi dapat diterapkan pada bidang farmasi dan industri kimia. Sedangkan untuk titanium (*lateric & placer* titan) pemanfaatan nanoteknologi banyak digunakan dalam industri kimia, kosmetik, elektronik dan industri transportasi. Diharapkan penerapan nanoteknologi pada material tambang dapat memberikan nilai tambah yang lebih tinggi.

Tabel 3.3. Potensi Sumber Daya dan Cadangan Nasional Mineral Logam

No		Sumber Daya Mineral (Ton)			
		Hypothetic	Inferred	Indicated	Measured
1	Primary Gold	1.394.919	465.430.000	111.050	366.990.000
2	Alluvial Gold	52.500.000	30.000.000	81.000.000	66.070.880
3	Silver	-	31.630.000	14.310.000	7.000.000
4	Copper	18.900	321.550.250	48.000	191.500.000
5	Tin	-	3.200.000	224.193	509.097
6	Nickel	-	347.300.000	417.566.200	385.350.000
7	Manganese	809.525	714	2.379.763	437.040
8	Iron Sand	3.406.770	250.000	61.241.872	459.772
9	Lateric Titan	15.694.843	3.700.000	828.673.796	-
10	Placer Titan	994.193	28.153.713	12.036.998	136.420
11	Lead	120.825	17.525.935	6.120.000	1.760.000

12	Zinc	318.900	17.440.935	13.495.000	-
13	Platinum	-	30.000.000	32.250.000	52.500.000
14	Monazite	-	-	179.712	-
15	Molybdenum	-	681.000.000	-	-
16	Placer Chromite	3.239.590	250.000	1.382.471	891.813
17	Primary Chromite	975.075	292.000	234.000	10.000
18	Cobalt	-	424.800.000	422.300.000	625.920.000
19	Lateric Iron	-	416.856.930	574.597.784	-
20	Primary Iron	3.721.000	1.132.000	-	65.339.600
21	Bauxite	-	3.356.606	-	97.843.757

Sumber: Sumber Daya dan Cadangan Nasional, Dirjen Geologi dan Sumber Daya Mineral, 2004

### 3. POTENSI BATUBARA DAN MIGAS

Potensi batubara dan migas di Indonesia cukup besar, namun keberadaannya tersebar di wilayah geografis yang luas. Oleh karena itu potensinya perlu dimaksimalkan dengan membenahi pengelolaan dan peningkatan mutu melalui implementasi teknologi yang tepat.

Indonesia menduduki peringkat kedua dunia sebagai negara pengeksport batubara setelah Australia (Tabel 3.4). Sedangkan untuk minyak bumi (Tabel 3.5) dan gas alam (Tabel 3.6), berturut-turut Indonesia menduduki peringkat ke-23 dan ke-13 dunia. Batubara yang diekspor ke luar negeri sebagian besar merupakan batubara kualitas rendah. Demikian juga dengan minyak bumi masih diekspor dalam bentuk minyak mentah dengan harga jual yang rendah. Padahal jika pada sumber daya migas ini diberi sentuhan teknologi, diharapkan bisa meningkatkan kualitas dan nilai jual sumber daya alam.

Tabel 3.4 Daftar Negara Penghasil Batu Bara Dunia

	<b>Terbesar Pertama</b>	<b>Terbesar Kedua</b>	<b>Terbesar Ketiga</b>	<b>Terbesar Keempat</b>
<b>Sumber</b>	USA 120 Btoe	Russia 69 Btoe	India 61 Btoe	China 59 Btoe
<b>Produksi</b>	China 1,108 Mtoe/a	USA 576 Mtoe/a	Australia 202 Mtoe/a	India 200 Mtoe/a
<b>Ekspor netto</b>	Australia 150 Mtoe/a	Indonesia 60 Mtoe/a	South Africa 47 Mtoe/a	Colombia 36 Mtoe/a

Btoe = Billion tons oil equivalent; Mtoe/a = Million tons oil equivalent per annum.  
(Sumber : www.energywatchgroup.org, 2005)

Tabel 3.5. Daftar Negara Penghasil Minyak Dunia (2005)

No	Negara	Cadangan Sumber Minyak (bbl)	Produksi minyak (bbl/hari)
1	Saudi Arabia	262.700.000.000	9.475.000
2	Canada	178.900.000.000	2.400.000
3	Iran	133.300.000.000	3.979.000
4	Iraq	112.500.000.000	2.093.000
5	United Arab Emirates	97.800.000.000	2.396.000
6	Kuwait	96.500.000.000	2.418.000
7	Venezuela	75.950.000.000	3.081.000
8	Russia	69.000.000.000	9.150.000
9	Libya	40.000.000.000	1.643.000
10	Nigeria	36.000.000.000	2.451.000
11	Mexico	33.310.000.000	3.420.000
12	Kazakhstan	26.000.000.000	1.300.000
13	Angola	25.000.000.000	1.600.000
14	United States	22.450.000.000	7.610.000

No	Negara	Cadangan Sumber Minyak (bbl)	Produksi minyak (bbl/hari)
15	China	18.260.000.000	3.504.000
16	Qatar	16.000.000.000	790.500
17	Brazil	15.120.000.000	2.010.000
18	Aljazair	12.460.000.000	1.373.000
19	Norwegia	9.859.000.000	3.220.000
20	Ueropian Union	7.294.000.000	342.000
21	Oman	6.100.000.000	769.000
22	India	5.700.000.000	785.000
23	Indonesia	4.600.000.000	1.061.000

Sumber : BP Migas dan Indonesia Petroleum Report 2005

Sebagai salah satu contoh, pengembangan nanoteknologi dewasa ini telah memberikan dampak yang signifikan dalam efisiensi proses dan peningkatan kualitas produksi migas. Contoh lain penerapan nanoteknologi pada peningkatan kualitas batubara adalah proses penurunan kandungan air pada batu bara. Sedangkan penerapan nanoteknologi pada minyak bumi, diantaranya penggunaan nanokatalis pada proses *cracking*. Demikian juga proses purifikasi gas alam menggunakan nanomaterial mampu menghasilkan gas alam dengan kualitas tinggi.

Tabel 3.6. Daftar Negara Penghasil Gas Alam Dunia

No	Negara	Cadangan Sumber Gas Alam (B.C.M)	Produksi Gas Alam per Tahun (B.C.M)
1	Russia	47.570,00	587,00
2	Iran	26.620,00	79,00
3	Qatar	25.770,00	30,80
4	Saudi Arabia	6.544,00	60,06
5	United Arab Emirates	6.006,00	44,79

No	Negara	Cadangan Sumber Gas Alam (B.C.M)	Produksi Gas Alam per Tahun (B.C.M)
6	United States	5.353,00	539,00
7	Algeria	4.531,00	8,40
8	Nigeria	4.502,00	1,20
9	Venezuela	4.191,00	29,70
10	European Union	3.256,00	239,20
11	Iraq	3.115,00	1,50
12	Kazakhstan	3.000,00	18,50
13	Indonesia	2.557,00	83,40
14	Australia	2.549,00	35,60
15	China	2.530,00	35,02
16	Malaysia	2.124,00	53,50
17	Norway	2.118,00	73,40
18	Turkmenistan	2.010,00	54,60
19	Egypt	1.900,00	27,00
20	Uzbekistan	1.875,00	55,80

B.C.M = Billion Cubic Meters (Sumber : BP Migas dan Indonesia Petroleum Report 2005)

#### 4. POTENSI SUMBER DAYA HAYATI

Indonesia memiliki keanekaragaman sumberdaya alam hayati yang sangat potensial, sehingga dikenal sebagai negara *Megabiodiversity*. Keanekaragaman hayatinya terbanyak kedua diseluruh dunia. Plasma nutfah dan keanekaragaman hayati tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Masing-masing daerah memiliki jenis-jenis yang khas, yang sering berbeda dengan jenis di daerah lain.

Keanekaragaman sumber daya alam hayati yang berupa jenis-jenis plasma nutfah dan keanekaragaman hayati itu hendaknya diketahui keberadaannya dan difahami manfaatnya bagi masyarakat serta bagi pembangunan daerah. Untuk itu maka

diperlukan adanya upaya-upaya pelestarian di samping pemanfaatannya. Upaya pelestarian ini harus dilakukan oleh segenap unsur masyarakat maupun pemerintah. Sumber daya alam hayati Indonesia ini sangat berpotensi sebagai bahan baku obat tradisional. Apalagi jika sentuhan iptek diberikan kepada sumber daya alam ini, bangsa Indonesia akan memperoleh peningkatan keuntungan yang signifikan.

Selain itu, Indonesia memiliki kawasan hutan dengan luas sekitar 108,6 juta ha. Hutan yang luas ini memiliki potensi hasil hutan, utamanya kayu, sebagai bahan baku pembuatan pulp dan selulosa untuk industri kertas. Untuk menjaga kelestarian hutan, perlu didukung dengan penerapan pengelolaan hutan berbasis masyarakat baik dalam bentuk pengelolaan hutan kemasyarakatan maupun hutan rakyat. Selama ini produk hasil hutan lebih banyak diekspor dalam bentuk kayu olahan. Sentuhan teknologi pada produk hasil hutan ini masih relatif sedikit, sehingga nilai jual produk kayu Indonesia masih relatif rendah. Penerapan iptek khususnya nanoteknologi pada industri hasil hutan diharapkan mampu menaikkan nilai ekonomi produk hasil hutan secara signifikan. Misalnya pengembangan nano-selulosa untuk pembuatan *smart-paper* pada industri kertas.

Pada sektor kelautan dan perikanan, terlihat kontribusi sumbangan devisa negara cukup berarti. Selama periode 1999-2002, PDB (Produk Domestik Bruto) sektor perikanan tumbuh sebesar 3,8 % per tahun. Pengolahan sektor kelautan dan perikanan saat ini masih banyak dilakukan secara tradisional. Salah satu penerapan teknologi pada industri kelautan dan perikanan adalah dengan metode *cooling storage* sehingga memungkinkan peningkatan daya tahan produk ekspor. Selain itu limbah yang dihasilkan dari proses pengolahan produk kelautan dan perikanan dapat dimanfaatkan sebagai produk yang bernilai tinggi, seperti limbah udang, kepiting dapat diproses menjadi chitin/chitosan sebagai nanopolimer dan bahan baku nano-enkapsulasi.

## 5. PEMANFAATAN IPTEK DALAM PENGEMBANGAN SDA

Pengembangan kemampuan Iptek menjadi salah satu faktor yang dominan bagi negara untuk meningkatkan kemakmuran rakyatnya. Terlebih lagi dengan laju perkembangan Iptek yang terus meningkat, maka pemanfaatan dan pengelolaan SDA perlu dilakukan dengan sentuhan Iptek. Pengembangan kemampuan Iptek menjadi kepentingan yang bersifat strategis bagi semua negara untuk mencapai kemajuan dan peningkatan perekonomian. Perekonomian perlu dikembangkan dengan memperkuat perdagangan domestik serta berorientasi dan berdaya saing global. Untuk itu dilakukan transformasi bertahap dari perekonomian berbasis keunggulan komparatif dan kompetitif

sumber daya alam di masing-masing daerah melalui pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi. Interaksi antar daerah didorong dengan membangun keterkaitan sistem produksi, distribusi dan pelayanan antar daerah yang kokoh. Upaya-upaya tersebut dilakukan dengan prinsip-prinsip dasar:

- mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan terhadap peningkatan produktivitas nasional melalui penguasaan, penyebaran, penerapan, dan penciptaan (inovasi) iptek menuju ekonomi berbasis teknologi.
- mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan terhadap kelembagaan ekonomi yang melaksanakan praktik terbaik dan pemerintahan yang baik, dan pengelolaan secara berkelanjutan SDA sesuai kompetensi dan keunggulan daerah.

Pembangunan industri berbasis SDA diarahkan untuk mewujudkan industri yang berdaya saing baik di pasar lokal maupun internasional dengan struktur industri yang kuat. Industri yang berbasis SDA harus dibangun dengan basis keunggulan komparatif dan kompetitif. Sebagai negara yang berpenduduk besar dengan SDA yang melimpah dengan pemanfaatan teknologi khususnya nanoteknologi, merupakan aset yang penting dalam perekonomian bangsa.

Nanoteknologi dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan nilai tambah SDA yang digunakan pada berbagai macam bidang industri. Dalam bidang pangan, metode nano-enkapsulasi diterapkan untuk memudahkan penyerapan vitamin dan mineral pada pangan fungsional. Sedangkan dalam bidang energi, khususnya minyak bumi, nanoteknologi sedang dikembangkan untuk membantu proses *enhanced oil recovery* (EOR). Salah satu metode EOR adalah dengan injeksi polimer dan injeksi surfaktan. Disinilah potensi nanoteknologi untuk lebih dikembangkan agar mampu menghasilkan polimer dan surfaktan yang berukuran nano sehingga mampu mengambil minyak bumi yang masih terikat pada batuan secara maksimal.

Pemanfaatan nanokomposit pada kerangka pesawat terbang, mampu menciptakan alat transportasi udara yang lebih ringan dan efisien. Hal yang sama dapat diterapkan juga untuk alat transportasi darat dan laut. Pada bidang tekstil, sudah banyak diterapkan nanoteknologi terutama pada proses printing dan finishing. Masih banyak lagi contoh penerapan nanoteknologi pada berbagai bidang.

Pengembangan kemampuan Iptek menjadi kepentingan yang bersifat strategis untuk mencapai sasaran kemajuan. Termasuk diantaranya, peningkatan kualitas produk ekspor maupun perdagangan domestik dapat dilakukan dengan sentuhan Iptek. Pengembangan industri pengolahan SDA berbasis Iptek mampu memberikan nilai

tambah yang tinggi. Salah satu teknologi yang berpotensi besar dapat meningkatkan kualitas sekaligus nilai tambah produk yang berbasis sumber daya alam adalah teknologi nano.

### C. KEBIJAKAN PEMERINTAH SAAT INI

Sampai hari ini kebijakan pemerintah tentang Penelitian dan Pengembangan Nanoteknologi di tingkat nasional belum ada. Kementerian Negara Riset dan Teknologi dalam menyikapi perkembangan nanoteknologi global, baru memiliki pedoman yang tertuang dalam suatu kegiatan dengan tema besar PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN ILMU PENGETAHUAN DAN TEKNOLOGI sub Pengembangan Litbangrap Ilmu dan Teknologi Nano [dokumen Ristek 2006]. Kegiatan ini akan dicanangkan mulai dari tahun 2005-2009. Dalam dokumen tersebut berisi tentang :

#### Tujuan dan Sasaran Kegiatan

##### a. Tujuan

Program riset pengembangan nanosains dan nanoteknologi bertujuan :

- Memperkuat dan mengembangkan kemampuan riset SDM peneliti dalam rangka penguasaan iptek nano
- Memberikan arahan fokus pengembangan riset kepada kegiatan berbasis SDA
- Mensinergikan kemampuan periset nasional

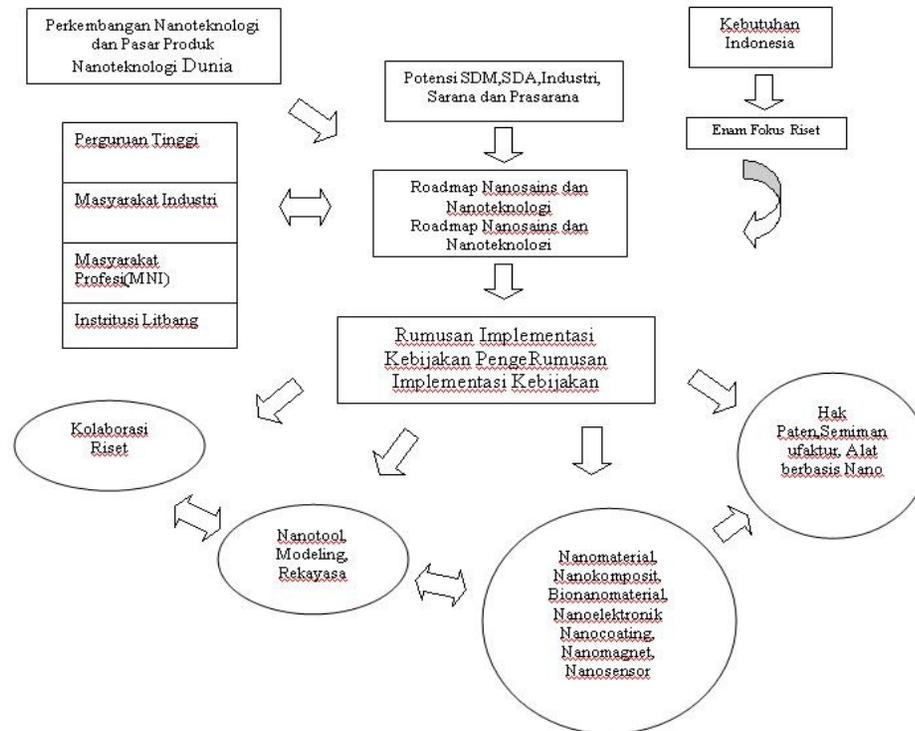
##### b. Sasaran

Aktivitas program riset nanosains dan nanoteknologi berupaya mendorong tercapainya :

- Kemampuan untuk memenuhi hajat hidup masyarakat luas dengan teknologi nano
- Kemampuan memenuhi produk pasar domestik dan internasional
- Pengelolaan SDA yang optimum
- Terukurnya capaian nanosains dan nanoteknologi nasional
- Tersusunnya kebijakan pengembangan nanosains dan nanoteknologi nasional

#### Platform Pengembangan Nanosains dan Nanoteknologi Nasional

Platform pengembangan nanosains dan nanoteknologi nasional yang disusun Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi (Kemendikristek) dapat dilihat pada Gambar 3. 4.



Gambar 3.4 Platform Nanoteknologi Kemendiknas-RI

## c. Luaran

- Rekomendasi pengembangan iptek nano serta upaya terobosan
- Formula/resep, sintesis material berbasis SDA nasional
- Perangkat keras atau lunak , seperti mesin pembuat nanofiber dll
- Teknologi tepat guna berbasis iptek nano
- Publikasi ilmiah dan paten

Berdasarkan dokumen Kemendiknas tentang kegiatan Iptek Nano, status pendanaan di bidang Nanoteknologi secara nasional baru pada level *program riset insentif* yang digulirkan sejak tahun 2005 sampai 2009. Namun status kegiatan ini dihentikan pada tahun 2008.

Fokus kegiatan pada periode 2005-2009 tersebut adalah :

- pengembangan prototip alat pembuatan material nano
- pengembangan prototip micro devices/sensor untuk MEMS
- pengembangan prototip bahan pelapis
- penyusunan bahan bio-nano/ atau bio kompatibel material

- penyusunan nanokomposit, nanopolimer dan nano katalis

Belajar dari peta kekuatan dunia, baik Uni Eropa, China, Jepang, dan USA serta kawasan Asia-Pasific pada umumnya, serta melihat kedalam (*in-ward looking*) terhadap kemampuan sesungguhnya dari penguasaan Iptek Nano maka dapat direkomendasikan beberapa hal terkait kegiatan nanoteknologi di Indonesia :

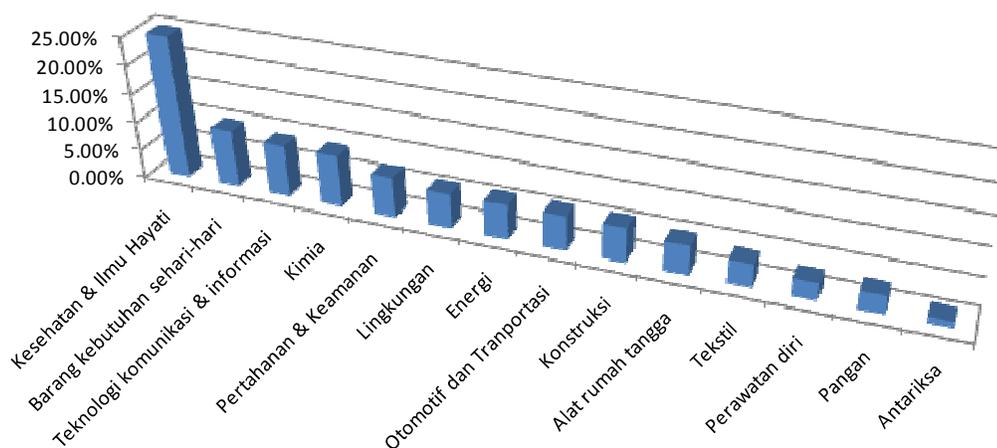
- Perlunya Strategi Penerapan Iptek Nano skala nasional dengan mensinergikan visi *Knowlegde Base Economic (KBE)* dengan *Resources Base Economic (RBE)*
- Perlunya melakukan fokus dan skala prioritas terkait pada peluang pasar seperti penguasaan Iptek Nano untuk kesehatan berbasis SDA lokal atau produk tekstil dimana di Asia Pasific belum menjadi prioritas
- Penelitian dan pengembangan nanoteknologi, utamanya bidang nanomaterial dengan fokus metoda dan teknik pembuatan nanopartikel yang diaplikasikan secara luas untuk industri kosmetik, kesehatan, pelapisan, keramik, elektronik, energi dan lain sebagainya. Pengembangan nano-bioteknologi juga diarahkan untuk bidang pengobatan, kesehatan dan peningkatan produksi pertanian. Beberapa penelitian di bidang energi juga dilakukan dengan target energi ramah lingkungan.
- Kondisi R & D di Industri belum bisa diidentifikasi, sehingga perlu dilakukan survei tentang status penggunaan nanoteknologi.
- Pengguna industri nano di Indonesia sudah mulai ada, namun perlu dilakukan survei untuk mendapatkan informasi yang lebih detail.

## BAB IV

# STATUS TERKINI PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI

### A. PRIORITAS BIDANG NANOTEKNOLOGI DI INDONESIA

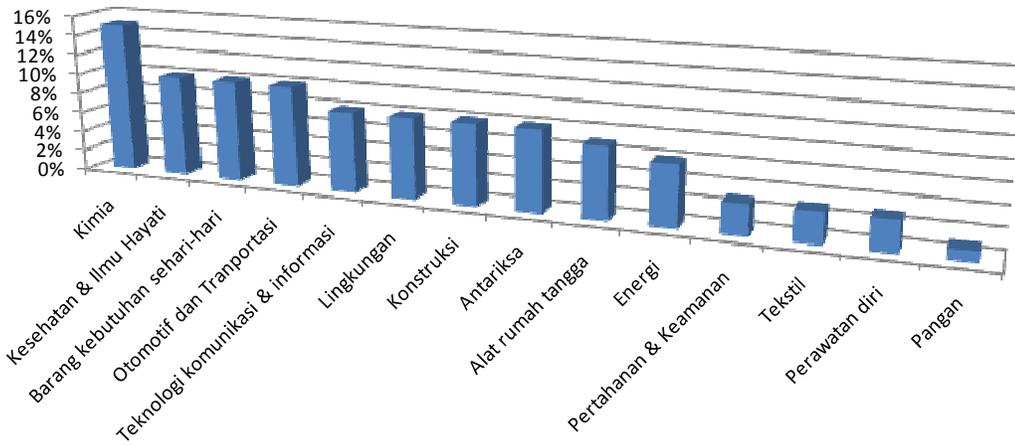
Studi awal dilakukan untuk memilih industri di antara kluster-kluster industri berdasarkan tren perkembangan nanoteknologi global, dan diperoleh gambaran bahwa dalam memajukan nanoteknologi di negaranya pemerintah berperan sangat aktif melalui berbagai kebijakan dan pengalokasian dana yang sangat besar untuk R & D dan implementasi nanoteknologi di industri nasionalnya. Dari analisa eksternal tersebut ternyata bahwa berdasarkan potensi dan kebutuhan pasar, kecenderungan aplikasi nanoteknologi pada industri di Eropa, adalah pada bidang 1) kesehatan dan ilmu hayati, 2) teknologi komunikasi dan informasi dan 3) kimia, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kecenderungan penerapan nanoteknologi di Eropa.

Trend serupa juga terlihat pada bidang industri di Asia Pasifik, yaitu: 1) kimia 2) kesehatan dan ilmu hayati, 3) barang kebutuhan sehari-hari dan 4) otomotif dan transportasi (Gambar 4.2). Apabila dianalisa lebih dalam dengan mempertimbangkan tren, status R & D terkini, peluang dan tantangan, kemampuan, kompetensi inti, dan keunggulan industri nasional serta aplikasi nanoteknologi dalam dunia industri, ternyata masing-masing negara di dunia telah menentukan fokus bidang nanoteknologinya. Secara umum ada tiga fokus utama bidang pengembangan nanoteknologi yaitu bidang

nanomaterial, farmasi dan kesehatan dan bidang energi. Hal ini sangat wajar mengingat nanomaterial merupakan tulang punggung dari industri-industri tersebut dan merupakan tahapan awal dari pengembangan nanoteknologi.



Gambar 4.2 Kecenderungan penerapan nanoteknologi di Asia Pasifik.

Hasil analisa internal menunjukkan bahwa penelitian dan pengembangan nanoteknologi di dominasi oleh bidang nanomaterial dengan fokus metoda dan teknik pembuatan nanopartikel yang diaplikasikan secara luas untuk industri kosmetik, kesehatan, pelapisan, keramik, elektronik, energi dan lain sebagainya. Pengembangan nano-bioteknologi juga dilakukan untuk bidang pengobatan, kesehatan dan peningkatan produksi pertanian. Beberapa penelitian di bidang energi juga dilakukan dengan target energi ramah lingkungan.

Hal-hal tersebut menjadi faktor yang berguna dan signifikan untuk dijadikan bahan pertimbangan dalam upaya menyusun strategi pengembangan industri berbasis nanoteknologi. Walaupun demikian, kedua analisa tersebut masih berkisar pada langkah-langkah konseptual. Pembahasan ini mengantarkan pada kesimpulan bahwa Indonesia harus dapat menentukan fokus bidang pengembangan nanoteknologi dalam rangka mendukung, mempertahankan dan memberikan nilai tambah terhadap industri nasional.

Dari hasil analisa eksternal dan internal, paling tidak ada lima bidang yang dapat dipilih menjadi prioritas dalam pengembangan nanoteknologi di Indonesia untuk dapat meningkatkan daya saing industri nasional, yaitu :

- 1) Nanomaterial, dengan target mensuplai bahan baku (nanopartikel) untuk industri lokal dan internasional.

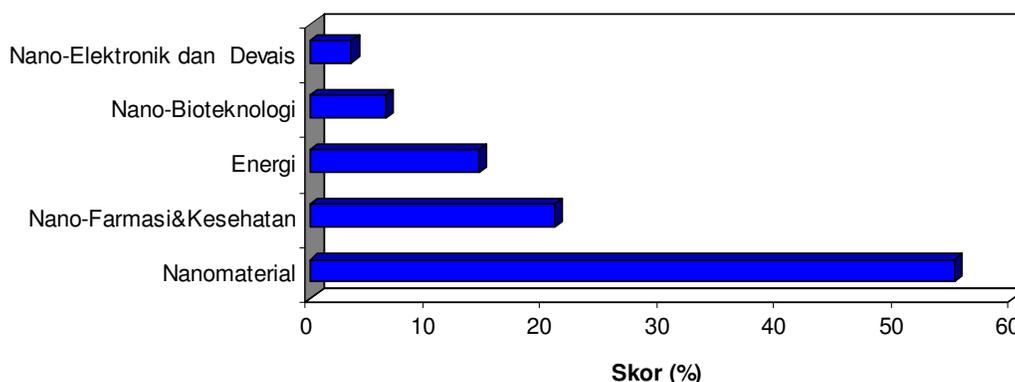
- 2) Nano-Bioteknologi, dengan target untuk peningkatan hasil pangan dan pertanian
- 3) Nano-Farmasi dan kesehatan, dengan target untuk peningkatan kualitas obat Indonesia.
- 4) Energi, dengan target untuk konservasi dan energi ramah lingkungan.
- 5) Nano-elektronik dan devais, dengan target pengembangan nanoteknologi untuk IT

Dalam rangka menentukan prioritas bidang pengembangan nanoteknologi, diperlukan alat bantu yang dapat memberikan penilaian/bobot secara kuantitatif terhadap alternatif-alternatif yang ada. Untuk tujuan tersebut, dalam kegiatan ini akan digunakan metode AHP (*Analytic Hierarchy Process*) untuk menentukan fokus prioritas dalam pengembangan industri berbasis nanoteknologi.

Metode AHP yang digunakan akan mengambil sampel responden terbatas, yaitu objek survei yang memiliki tingkat pengetahuan tinggi terhadap masing-masing bidang tersebut termasuk potensi pengembangannya, memiliki tingkat aksesibilitas yang tinggi terhadap bidang itu, dan memiliki pengetahuan yang tinggi terhadap arah kebijakan pembangunan industri Indonesia pada masa datang. Pengumpulan data survei dilakukan melalui metoda pengisian kuesioner yang dibagikan kepada pejabat Eselon satu di lingkungan Departemen Perindustrian, karena para pejabat Eselon satu sedikitnya memenuhi kriteria tersebut.

Setelah melakukan AHP, proses selanjutnya adalah pengumpulan dan interpretasi data. Dengan menggunakan bantuan *software* AHP, dapat disimpulkan bahwa pengembangan fokus bidang industri berbasis nanoteknologi memprioritaskan bidang-bidang nanomaterial, nano-farmasi dan kesehatan, energi, nano-bioteknologi, dan nano-elektronik dan devais.

Gambar 4.3 menunjukkan skor nilai dari perhitungan AHP untuk menentukan prioritas bidang nanoteknologi. Nanomaterial memiliki skor nilai yang tinggi (54,9) jauh mengungguli bidang-bidang lainnya, kemudian disusul oleh Nano-Farmasi & Kesehatan (20,8), Energi (14,4), Nano-Bioteknologi (6,4) dan Nano-Elektronik & Devais (3,5). Hal ini sangat relevan dengan hasil analisa internal bahwa tema bidang riset nanomaterial mendominasi riset-riset nanoteknologi yang ada di Indonesia. Menurut laporan dari Komisi Uni Eropa dan *Frame Work Programme* (FP6), fokus Bidang Nanomaterial juga menjadi primadona pengembangannya di seluruh dunia disusul oleh Bidang Nano-Farmasi & Kesehatan, dan Bidang Energi. Ini menunjukkan bahwa ketiga bidang tersebut menjadi perhatian utama di setiap negara karena nilai strategis dari pengembangan bidang-bidang tersebut dalam mendukung dan mengakselerasi pembangunan industri nasional mereka dalam berkompetisi dengan negara lain.



Gambar 4.3 Nilai perhitungan AHP dalam penentuan prioritas bidang nanoteknologi di Indonesia.

Perhatian dunia terhadap ketiga bidang ini ternyata juga relevan dengan kondisi di Indonesia, dimana keunggulan komparatif yang berupa sumber daya alam dan keanekaragaman flora dan fauna serta jumlah populasi yang besar sebagai pasar yang potensial menjadi daya tarik tersendiri dalam pembangunan ekonomi nasional. Nanomaterial yang menjadi kunci rantai produk industri manufaktur menempati porsi yang sangat besar karena perannya dalam menyokong dan meningkatkan nilai tambah bahan baku yang berasal dari sumber daya alam. Pemberian perhatian pada bidang Nanomaterial dengan memberikan dukungan baik dalam bentuk kebijakan dan finansial menjadi keharusan agar proses penguatan di tataran dasar industri nasional dapat terpenuhi.

Di lain sisi, tanpa mengabaikan perhatian terhadap bidang Nano-Farmasi dan Kesehatan, bidang Energi juga perlu mendapat penekanan mengingat potensi kebutuhan akan peningkatan kualitas hidup dan suplai energi terus-menerus mendominasi isu-isu nasional dewasa ini dan juga dalam periode yang akan datang. Untuk mendapatkan kondisi yang lebih riil pada tataran industri nasional, maka diperlukan sebuah survei ke sejumlah industri nasional yang potensial telah atau akan menerapkan nanoteknologi dalam rantai proses produksinya.

## B. PENGGUNAAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI NASIONAL

Survei terhadap industri nasional dilakukan untuk mengukur tingkat pemahaman dan kesiapan industri terhadap isu nanoteknologi, serta mengetahui secara langsung potensi penerapan nanoteknologi pada industri tersebut. Selain itu, tujuan secara khusus adalah sebagai berikut:

- Terpetakannya kemampuan dan status teknologi industri nasional serta peluang penerapan nanoteknologi pada industri nasional.
- Adanya gambaran arah pengembangan industri nasional berbasis nanoteknologi untuk meningkatkan daya saing di pasar global.

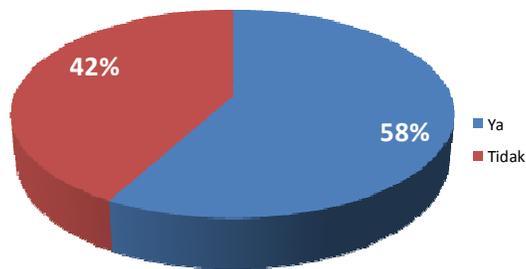
Industri Indonesia dikelompokkan dalam beberapa klaster Industri yang menjadi target dalam rencana pengembangan jangka panjang. Di antara sekian banyak industri nasional yang ada, perlu dijajagi sejauh mana mereka telah menerapkan nanoteknologi. Dengan catatan, meskipun industri kesehatan (farmasi) dan ilmu hayati menduduki peringkat yang tinggi dalam hal potensi aplikasi dan pasar baik di Eropa maupun di Asia Pasifik, dalam hal ini tidak menjadi target survei. Hal ini dikarenakan, bidang ini di luar tanggung jawab pembinaan Departemen Perindustrian.

Survei status terkini penerapan nanoteknologi pada industri nasional dilakukan pada bulan Agustus - September 2008 terhadap 28 industri. Metodologi survei yang digunakan berorientasikan pada potensi penerapan nanoteknologi di industri dengan berdasarkan pada kriteria sebagai berikut:

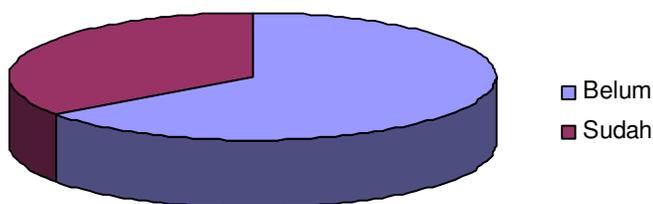
- a. Bidang potensi penerapan nanoteknologi berdasarkan hasil analisa internal dan eksternal
- b. Obyek survei dipilih berdasarkan pada industri nasional yang berpotensi menerapkan nanoteknologi
- c. Obyek survei bergerak di sektor yang memberikan kontribusi cukup signifikan terhadap PDB
- d. Obyek survei termasuk yang diprioritaskan dalam Kebijakan Industri Nasional

Gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan bahwa sebagian besar dari industri tersebut telah mengetahui isu nanoteknologi (58%) namun hanya sedikit saja yang menyatakan telah menerapkan nanoteknologi (35%). Hal ini disebabkan karena informasi yang diperoleh oleh industri mengenai isu nanoteknologi masih belum banyak, sehingga belum sampai kepada tahapan penerapan nanoteknologi.

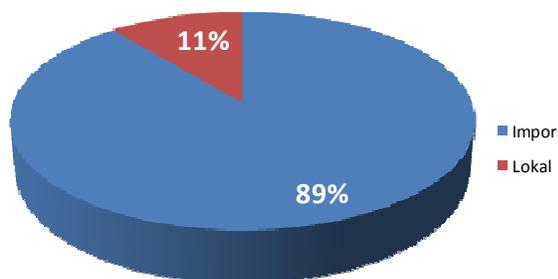
Namun demikian teknologi yang diterapkan di masing-masing industri, sebagian besar bersumber dari luar negeri (89% impor teknologi) seperti diilustrasikan Gambar 4.6. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi bangsa Indonesia untuk mengembangkan sendiri nanoteknologi, agar bisa diserap oleh industri nasional. Apalagi sumber daya alam di Indonesia tersedia demikian potensial dan sumber daya manusia yang ada di Indonesia diyakini mampu untuk mengolah dengan nanoteknologi ini.



Gambar 4.4 Tingkat pengenalan industri terhadap isu nanoteknologi.



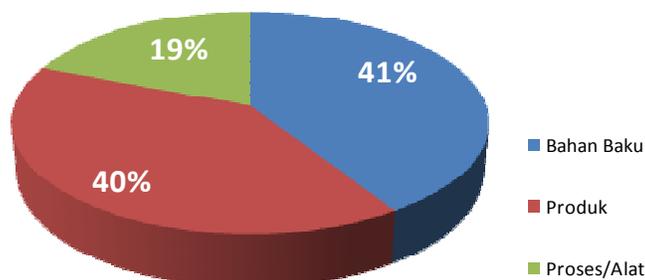
Gambar 4.5 Tingkat penerapan nanoteknologi pada industri (35%).



Gambar 4.6 Sumber teknologi yang digunakan dalam penerapan nanoteknologi di masing-masing industri.

Gambar 4.7 mengilustrasikan nanoteknologi yang diterapkan di masing-masing industri terfokus pada bahan baku (41%) dan produk (40%). Hanya sebagian kecil yang menerapkan pada alat atau prosesnya (19%). Penerapan nanoteknologi pada bahan baku dan produk relatif lebih mudah dan murah dibandingkan jika menerapkan pada alat atau proses. Selain itu penerapan nanoteknologi pada alat atau proses membutuhkan proses alih teknologi dari luar negeri, serta membutuhkan investasi yang cukup besar.

Potensi sumber daya alam di Indonesia akan semakin tinggi nilai tambahnya jika diberi sentuhan nanoteknologi.



Gambar 4.7 Fokus penerapan nanoteknologi pada industri nasional

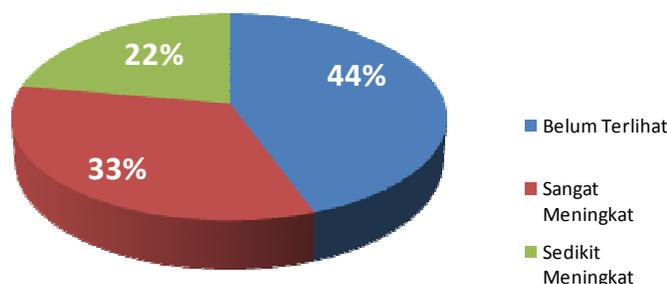
Tabel 4.1 memperlihatkan data jumlah industri yang telah menerapkan nanoteknologi dalam aktivitasnya. Industri tekstil menjadi industri yang paling banyak menerapkan nanoteknologi, disusul oleh industri keramik dan industri cat atau pelapisan. Sedikitnya jumlah industri yang menerapkan nanoteknologi kemungkinan disebabkan pemahaman bahwa nanoteknologi merupakan teknologi mutakhir dan memerlukan biaya yang tidak sedikit terutama untuk infrastruktur. Sedangkan dilain pihak, permintaan produk nano dalam ruang lingkup Industri mereka belum signifikan. Permasalahan lain tampak pada Industri yang mengaplikasikan nanoteknologi, yaitu 89% menggunakan sumber teknologi impor. Aplikasi nanoteknologi paling banyak terdapat pada bahan baku (41%) dan produk

Tabel 4.1 Penerapan nanoteknologi berdasarkan jenis industri.

No.	Industri	Sudah menerapkan	Belum menerapkan
1.	Keramik dan gelas	2	5
2.	Pangan	0	3
3.	Bahan Kimia	0	4
4.	Tekstil	3	0
5.	Polimer	1	1
6.	Cat dan pelapisan	2	2
7.	Otomotif	0	2
8.	Elektrik	1	2

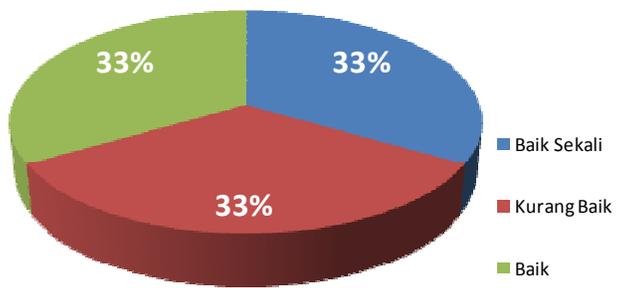
nano dalam ruang lingkup Industri mereka belum signifikan. Permasalahan lain tampak pada Industri yang mengaplikasikan nanoteknologi, yaitu 89% menggunakan sumber teknologi impor. Aplikasi nanoteknologi paling banyak terdapat pada bahan baku (41%) dan produk yang dihasilkan (40%). Hal ini menguatkan fakta bahwa permesinan pada industri tekstil hampir bergantung pada luar negeri, sehingga pelaku industri tekstil merasa berat untuk mengganti infrastrukturnya.

Pengaruh penerapan nanoteknologi sangat dirasakan pada peningkatan kualitas, yang juga disepakati oleh semua obyek survei. Meskipun demikian, nanoteknologi belum dirasakan manfaatnya dalam peningkatan produktivitas dengan 44% obyek survei menjawab belum melihat adanya pengaruh (Gambar 4.8). Hal ini disebabkan karena penerapan nanoteknologi yang dilakukan di masing-masing industri masih pada sebagian kecil proses produksi yang ada. Bahkan ada beberapa industri yang menerapkan nanoteknologi jika hal tersebut memang dipesan oleh konsumen. Sehingga jika dilihat secara total, maka peningkatan nilai produktivitas hasil penerapan nanoteknologi masih belum terlihat.



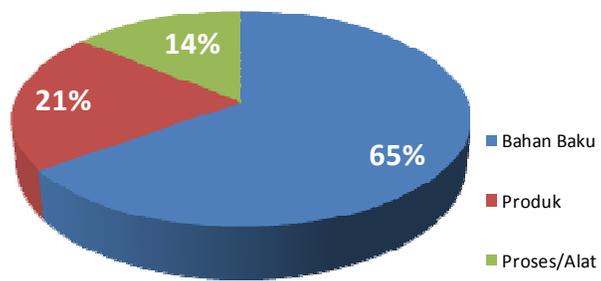
Gambar 4.8 Pengaruh penerapan nanoteknologi pada produktivitas industri.

Terhadap harga jual, 78% menjawab implementasi nanoteknologi akan mempengaruhi terhadap peningkatan harga jual produk dan ini mempengaruhi sekitar 33% responden untuk menyatakan nanoteknologi berdampak kurang baik terhadap pasar (Gambar 4.9). Korelasi yang bisa dipahami adalah dengan meningkatnya harga jual maka dapat menurunkan daya beli masyarakat. Menyikapi hal ini perlu dilakukan terobosan dalam pengembangan nanoteknologi yang efisien untuk penerapan dalam industri. Walaupun dapat dimaklumi juga bahwa pada saat ini secara umum pengembangan nanoteknologi belum mencapai tahap mapan untuk bisa memberikan keuntungan maksimal.



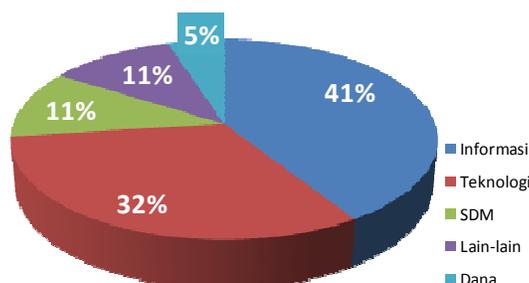
Gambar 4.9 Dampak penerapan nanoteknologi terhadap pasar.

Seluruh responden survei menyatakan urgensinya penerapan nanoteknologi dalam industri dan melihat nanoteknologi sebagai inovasi yang sangat menjanjikan. Kebutuhan akan aplikasi nanoteknologi paling banyak (65%) adalah ketersediaan bahan baku dengan sentuhan nanoteknologi, yaitu nanomaterial. Sehingga dapat dipahami pengembangan industri nanomaterial kelak akan menjadi kebutuhan yang tak terelakkan lagi. Hal ini juga menegaskan hasil penentuan fokus bidang nanoteknologi yang telah dilakukan dengan menggunakan metode AHP dimana bidang nanomaterial memiliki peranan penting dalam membangun industri nanoteknologi.



Gambar 4.10 Kebutuhan nanoteknologi di industri nasional.

Untuk dapat mewujudkan penerapan nanoteknologi, banyak hal yang perlu dipersiapkan. Hingga saat ini 41% responden menyatakan kesulitan mengakses informasi menjadi kendala yang paling besar, menyusul teknologi itu sendiri (32%) (Gambar 4.11). Hal lain yang dirasakan menjadi masalah adalah SDM (11%) dan dana (5%). Harapan kepada pemerintah untuk dapat memfasilitasi pengembangan Industri dan menjawab permasalahan yang ada menjadi sangat besar, dilihat dari penilaian mayoritas responden (69%) yang menyatakan peran pemerintah yang masih belum dirasakan secara signifikan.



Gambar 4.11 Hambatan yang dirasakan industri dalam penerapan nanoteknologi.

Beberapa harapan yang dilontarkan oleh industri kepada pemerintah antara lain adalah sebagai berikut :

- Menyediakan informasi terkini tentang nanoteknologi (9),
- Mengembangkan standar nasional untuk produk nanoteknologi (4),
- Memberikan keringanan pajak bagi litbang dan pelatihan nanoteknologi (2),
- Lebih memperhatikan kebutuhan industri,
- Hubungan antara industri dan litbang (suplai bahan baku),
- Mengenakan bea masuk produk nano yg masuk ke Indonesia untuk memproteksi industri nasional,
- Penelitian tentang nanoteknologi untuk industri, dan
- Meringankan bea masuk untuk mesin berbasis nanoteknologi.

### C. INDUSTRI PRIORITAS UNTUK DIKEMBANGKAN MELALUI PENERAPAN NANO-TEKNOLOGI

Untuk melihat tingkat kesiapan industri-industri dalam penerapan nanoteknologi, dilakukan penilaian terhadap parameter tertentu yang menunjang aplikasi nanoteknologi dalam meningkatkan performansi industri. Industri prioritas yang dilakukan penilaian terdiri dari industri tekstil, keramik, polimer, cat dan pelapisan, serta industri elektrik. Kriteria yang menentukan kemudahan penerapan nanoteknologi pada industri ditetapkan sebagai sumber daya manusia, infrastruktur, teknologi, pasar, modal/dana, bahan baku dan potensi risiko (lingkungan, kesehatan, dsb).

Tabel 4.2 memperlihatkan hasil penilaian yang telah dilakukan responden. Dengan menggunakan konsep *reversed scoring*, industri tekstil dinilai sebagai industri yang paling menjanjikan untuk dapat diterapkannya nanoteknologi dan industri keramik

menyusul setelahnya. Hal yang menjadi modal dari industri tekstil dan keramik dibandingkan dengan industri lainnya adalah sumber daya manusia yang menunjang. Khusus bagi industri tekstil, potensi risiko dinilai yang paling tidak membahayakan dan dapat diantisipasi dengan baik dibandingkan dengan industri lainnya. Namun pasar industri tekstil merupakan pasar yang sangat kompetitif dan menjadi kendala tersendiri, meskipun keadaan ini justru menjadi pemicu untuk menerapkan nanoteknologi agar meningkatkan daya saing industri tekstil nasional.

Tabel 4.2 Perkiraan tingkat kemudahan penerapan nanoteknologi di Industri prioritas.

No	Kriteria/ Jenis Industri	Tekstil	Keramik	Polimer	Cat dan pelapisan	Elektrik
1.	SDM			√	√√	√
2.	Infrastruktur	√	√√	√√	√√	√√
3.	Teknologi	√√	√√	√√	√√	√√
4.	Pasar	√√√	√	√√√	√√√	√√√
5.	Dana	√√	√√	√√	√√	√√
6.	Bahan baku	√	√√	√	√√	√√
7.	Potensi resiko		√	√	√	
Jumlah Nilai		9	10	12	14	12

Sebagai kesimpulan, survei yang juga menjadi studi feasibilitas aplikasi nanoteknologi di Industri telah dilakukan pada sebanyak 28 industri dari berbagai macam jenis industri. Seluruh industri menyatakan pentingnya penerapan nanoteknologi untuk meningkatkan kualitas secara keseluruhan meskipun juga melihat banyaknya kendala untuk dapat mewujudkannya. Oleh karena itu, pemerintah diharapkan dapat lebih banyak mengambil peranan dalam menunjang kesiapan industri dalam peningkatan kapabilitasnya. Sejauh ini, Industri tekstil dan keramik Indonesia menjadi industri yang paling siap dalam menerapkan nanoteknologi dengan mempertimbangkan kriteria pasar, teknologi, infrastruktur, dana, bahan baku, SDM, dan potensi risiko. Industri perlu didukung dengan kemapanan dalam bidang nanomaterial, karena bahan baku menjadi perhatian utama dalam penerapan nanoteknologi dalam aktivitas industri. Beberapa permasalahan lain seperti isu lingkungan, kesehatan dan risiko kerja, sosialisasi nanoteknologi pada masyarakat, kebijakan dan isu strategis lain juga perlu mendapat perhatian agar penerapan nanoteknologi di industri menjadi terintegritas dan komprehensif dalam pelaksanaannya.

## BAB V

### ISU-ISU STRATEGIS DAN STANDARDISASI NANOTEKNOLOGI

Sebagai salah satu referensi dalam penyusunan Road Map Nanoteknologi di Indonesia, perlu kajian tentang isu-isu strategis yang sedang berlangsung di dunia saat ini. Fokus kajian isu strategis adalah mengenai isu-isu di tingkat global, yang meliputi dua aspek, yaitu isu-isu strategis yang dianggap penting oleh pemerintah, dan isu-isu yang dianggap urgen oleh dunia industri/bisnis.

Isu-isu global adalah hal-hal yang dianggap sangat penting oleh masyarakat global, dan di tataran ini, ada irisan antara isu yang dianggap penting pemerintah maupun oleh pihak industri/bisnis. Tetapi ketika dibahas lebih detail, ternyata ada isu-isu penting yang berbeda antara pemerintah dan industri. Kemungkinan besar karena faktor penempatan aspek keuntungan bisnis sebagai prioritas program, karena di dunia bisnis ada faktor perhitungan rugi/laba atas usaha yang dilakukannya.

#### A. ISU GLOBAL

Secara global ada dua arus utama isu strategis, yaitu perkembangan iptek dan perubahan tren industri di abad 21 ini. Pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek), khususnya di bidang teknologi nano, tidak saja penting sebagai sumber pertumbuhan dan daya saing ekonomi semata, tetapi juga sumber pengembangan peradaban. Tingkat pembangunan iptek ditandai oleh kontribusi terhadap khasanah perkembangan ilmu pengetahuan yang bersifat universal, dan pengembangan pada aspek yang bersifat terapan, dalam bentuk litbang pada skala produksi dan komersial.

Di abad ke-21 ini pemerintah di negara-negara maju memfokuskan pada isu-isu penting [1], yaitu 1) kemajuan standar hidup, 2) lingkungan dan daur ulang, 3) utilisasi personal, 4) informasi dan pengetahuan, dan 5) penelitian dan pengembangan yang kreatif

Salah satu tren industri di abad ke-21 adalah era kompetisi perusahaan-perusahaan internasional yang diikuti dengan globalisasi bisnis. Negara-negara industri maju kebanyakan mengurangi aktivitas rutin mereka, berganti menjadi aktivitas investasi yang terus meningkat. Sektor bisnis yang akan berkembang adalah mikro-elektronik, komputer, software, telekomunikasi, bioteknologi dan pengembangan sumber daya baru.

Litbang (R&D) merupakan hal yang sangat penting untuk mencapai kondisi masyarakat abad ke-21 yang lebih menekankan pentingnya kenyamanan dan perdamaian. Semua itu baru bisa diwujudkan apabila ada dukungan nasional di bidang nanoteknologi.

Berlainan dengan fokus pemerintah, dunia bisnis memiliki pandangan berbeda tentang tren dan isu strategis dunia ini, yaitu dalam aspek-aspek :

- a. Perdagangan dan Komersialisasi (*Trade and commercialization*)
- b. Keselamatan Pekerja (*Worker safety*)
- c. Proses Manufaktur (*Manufacturing processes*)
- d. Hak Kekayaan Intelektual [HKI] (*Intellectual Property*)
- e. Pengembangan Teknologi-Teknologi Baru (*Development of new technologies*)
- f. Pasar Baru (*New markets*)

## **B. BEBERAPA RISIKO NANOTEKNOLOGI**

Selain sisi-sisi positif nanoteknologi yang telah dibahas, sisi-sisi negatifnya juga sangat perlu diperhatikan, diperhitungkan dan dipersiapkan langkah-langkah antisipasinya, agar pemanfaatan nanoteknologi dapat lebih optimal, dengan meminimalkan risiko negatifnya.

### **1. MATERIAL NANO BERBAHAYA**

Dalam salah satu presentasi Internasional tentang risiko nanoteknologi, tercantum pernyataan tentang peringatan 10 racun nanoteknologi yang membahayakan lingkungan, kesehatan dan keselamatan, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 5.1.

Di dalam Tabel 5.1 dijelaskan 10 peringatan terhadap bahaya nanoteknologi terutama beberapa nanopartikel/nanomaterial. Nanomaterial memiliki keunikan karakteristik tersendiri yang berbeda dengan material-material yang sekarang ada. Untuk banyak kasus, karakteristik material ini belum banyak dieksplor oleh para ilmuwan, apalagi dampak material tersebut terhadap lingkungan, kesehatan dan keselamatan.

### **2. DISTRIBUSI NANOMATERIAL**

Saat ini, para ilmuwan nanoteknologi lebih melihat keuntungan-keuntungan yang akan diperoleh daripada risiko yang mungkin timbul. Untuk mengatasi realitas tersebut, maka dibutuhkan keseimbangan dalam memperhitungkan *risk and benefit*

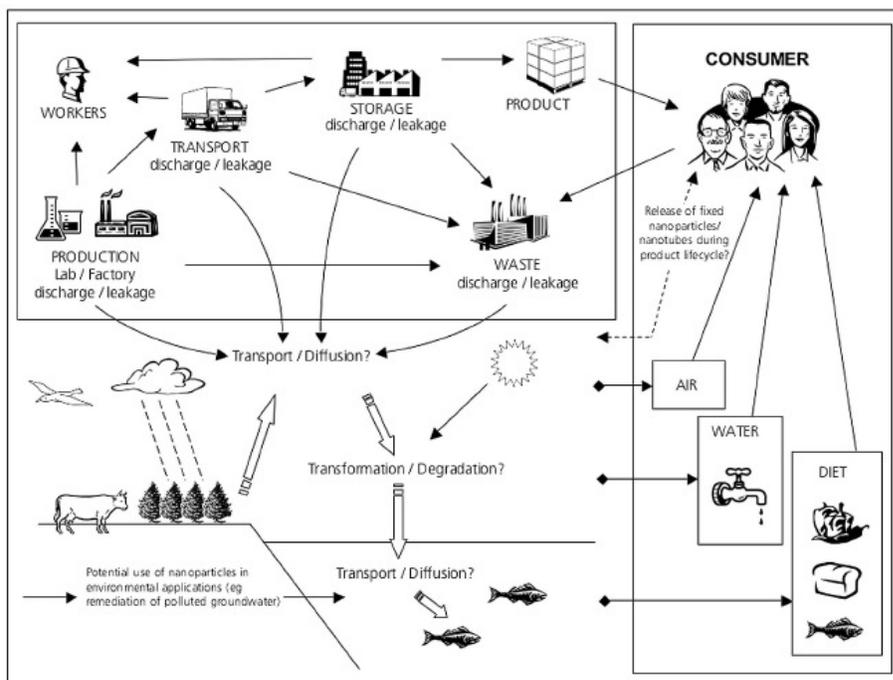
untuk menciptakan rasa aman bagi manusia dan lingkungan. Untuk itu perlu diketahui dengan pasti bagaimana proses pendistribusian material nano.

Tabel 5.1 Peringatan untuk 10 Racun Berbahaya Nanoteknologi

No	Tahun penerbitan dan peringatannya
1.	1997 – Titanium dioxide/zinc oxide nanoparticles from sunscreen are found to cause free radicals in skin cells, damaging DNA. (Oxford University and Montreal University) Dunford, Salinaro et al.
2.	March 2002 – Researchers from the Center for Biological and Environmental Nanotechnology (CBEN, Rice University, Houston) report to US EPA that engineered nanoparticles accumulate in the organs of lab animals and are taken up by cells. <i>“We know that nanomaterials have been taken up by cells. That sets off alarms. If bacteria can take them up then we have an entry point for nanomaterials into the food chain.”</i> – Dr. Mark Wiesner <sup>9</sup>
3.	March 2003 – Researchers from NASA/Johnson Space Center report that studies on effects of nanotubes on the lungs of rats produced more toxic response than quartz dust. Scientists from DuPont Haskell laboratory present varying but still worrying findings on nanotube toxicity. <i>“The message is clear. People should take precautions. Nanotubes can be highly toxic.”</i> – Dr. Robert Hunter (NASA researcher)
4.	March 2003 – ETC group publishes first scientific literature survey on nanoparticle toxicity by toxicopathologist Vyvyan Howard. Dr. Howard concludes that the smaller the particle, the higher its likely toxicity and that nanoparticles have various routes into the body and across membranes such as the blood brain barrier. <i>“Full hazard assessments should be performed to establish the safety of species of particle before manufacturing is licensed. We are dealing with a potentially hazardous process.”</i> – Dr. Vyvyan Howard
5.	July 2003 – Nature reports on work by CBEN scientist Mason Tomson that shows buckyballs can travel unhindered through the soil. <i>“Unpublished studies by the team show that the nanoparticles could easily be absorbed by earthworms, possibly allowing them to move up the food-chain and reach humans”</i> – Dr. Vicki Colvin, the Center’s director
6.	January 2004 – Research by Dr. Günter Oberdörster is published showing that nanoparticles are able to move easily from the nasal passageway to the brain. <i>“The nanotechnology revolution may design particles that are very different chemically from the ones we are exposed to, and they might have very different properties that made them more harmful. We should be vigilant.”</i> – Professor Ken Donaldson, University of Edinburgh
7.	January 2004 – Nanosafety researchers from University of Leuven, Belgium, write in Nature that nanoparticles will require new toxicity tests: <i>“We consider that producers of nanomaterials have a duty to provide relevant toxicity test results for any new material, according to prevailing international guidelines on risk assessment. Even some ‘old’ chemical agents may need to be reassessed if their physical state is substantially different from that which existed when they were assessed initially.”</i> – Peter H. M. Hoet, Abderrahim Nemmar and Benoit Nemery, University of Belgium

8.	January 2004 – At the first scientific conference on nanotoxicity, Nanotox 2004, Dr. Vyvyan Howard presents initial findings that gold nanoparticles can move across the placenta from mother to fetus.
9.	February 2004 – Scientists at University of California, San Diego discover that cadmium selenide nanoparticles (quantum dots) can break down in the human body potentially causing cadmium poisoning. “ <i>This is probably something the [research] community doesn't want to hear.</i> ” – Mike Sailor, UC San Diego.
10.	March 2004 – Dr. Eva Oberdörster reports to American Chemical Society meeting that buckyballs cause brain damage in juvenile fish along with changes in gene function. They also are toxic to small crustaceans (water fleas). “ <i>Given the rapid onset of brain damage, it is important to further test and assess the risks and benefits of this new technology before use becomes even more widespread.</i> ” – Dr. Eva Oberdörster.

Gambar 5.1 mengilustrasikan rangkaian efek dari keberadaan nanomaterial / nanopartikel. Para pekerja yang bekerja di industri dapat terkena dampak, para pekerja transportasi dapat terkena dampak, para pekerja pembuangan limbah dapat terkena dampak. konsumen juga dapat terkena dampak. lingkungan pun dapat terkena dampak. Pekerja dan konsumen serta lingkungan memiliki risiko terkena dampak dari keberadaan nanomaterial dengan tingkat risiko yang berbeda-beda.



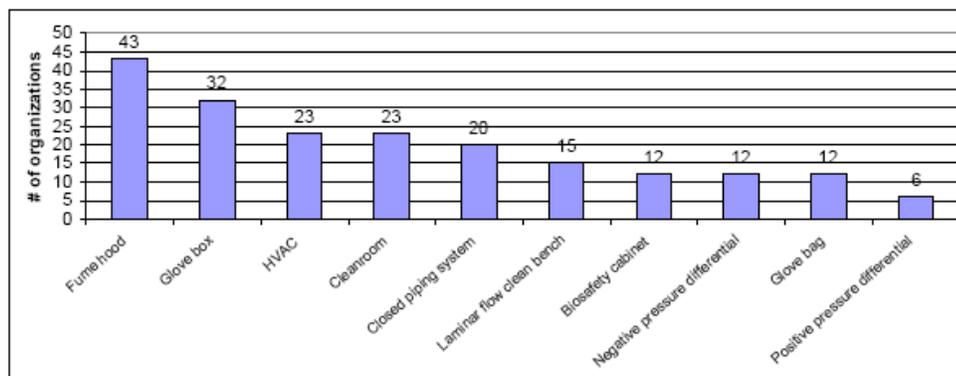
Gambar 5.1 Jalur pergerakan nanomaterial

### 3. SISTEM KESELAMATAN PEKERJA NANOMATERIAL

Dari hasil survei tentang “CURRENT PRACTICES IN THE NANOTECHNOLOGY WORKPLACE” yang dilakukan oleh beberapa peneliti dari University of California, Santa Barbara tahun 2006, diperoleh informasi sebagai berikut :

- Organisasi (industri/lembaga penelitian/institusi lainnya) yang bekerja dengan nanomaterials secara umum masih mempergunakan metode-metode keselamatan kerja yang konvensional dalam penanganan bahan kimia.
- Dalam beberapa contoh, ada organisasi yang mengambil tindakan penanganan lebih dari yang selama ini ada, seperti mendisain proses kerja yang tertutup untuk yang berkaitan dengan nanomaterials. Ada pula yang mempergunakan pedoman yang lebih ketat lagi seperti pedoman penanganan material sangat berbahaya.
- Organisasi-organisasi di kawasan Asia mempergunakan peralatan tambahan yang lebih murah dibandingkan di kawasan Amerika untuk keselamatan pekerja.

Walaupun belum dapat menggambarkan kondisi secara umum, informasi yang didapat dari hasil survei ini menunjukkan sikap kehati-hatian dari para pelaku industri nanoteknologi dalam menangani nanomaterial. Mereka mengambil langkah-langkah untuk meminimalisasi risiko dengan penambahan peralatan dan perlengkapan kerja, pelatihan-pelatihan tentang nanomaterial dan lain-lain. Beberapa informasi yang didapat dari survei terkait peralatan keselamatan kerja yang dipakai sebagai tambahan dalam bekerja di sektor nanoteknologi, diperlihatkan pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Beberapa contoh peralatan keselamatan kerja

### C. STANDARDISASI NANOTEKNOLOGI

Negara-negara yang terus mengembangkan nanoteknologi melakukan pula kajian-kajian tentang dampak nanoteknologi terhadap ekonomi, sosial, politik, lingkungan,

kesehatan dan sebagainya. Kajian-kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak secara lebih jelas dan terukur agar dapat diperoleh kemanfaatan nanoteknologi secara maksimal. Setelah dampak-dampak itu dikaji, sebagai sebuah solusi permasalahan manusia yang baru, diperlukan batasan-batasan yang jelas yang perlu diatur secara bijak agar tujuan akhirnya dapat dicapai.

Isu standarisasi menjadi topik yang menarik dalam pengembangan dan pemanfaatan nanoteknologi. *International Organization for Standarditation (ISO)* sebagai salah satu organisasi dunia yang banyak membuat standar-standar internasional telah melakukan upaya-upaya untuk membuat standar terkait nanoteknologi. Salah satu upayanya adalah pembentukan ISO TC 229.

Pembuatan standar nanoteknologi tidak hanya dilakukan pada level negara saja, tetapi lebih luas dari itu. Beberapa negara terutama negara-negara maju telah atau sedang membuat standar itu. Salah satunya adalah Inggris. Sebagai lembaga standarisasi di Inggris BSI telah mengeluarkan standar-standar itu seperti PAS 71:2005 tentang *Vocabulary- Nanoparticles*, PAS 130:2007 tentang *Guidance on the labelling of manufactured nanoparticles and products containing manufactured nanoparticles*, PAS 131:2007 tentang *Terminology for medical, health and personal care applications of nanotechnology* dan lain-lain.

Indonesia sangat berkepentingan dengan perkembangan standar nanoteknologi di dunia ini. Proses standarisasi yang saat ini sedang digodok oleh dua kekuatan besar, yang terpolarisasi antara Amerika Serikat (AS) dan Uni-Eropa (UE) yang dimotori oleh Inggris. AS berusaha mengembangkan sendiri standar teknologi nano, karena merasa menjadi *leader* dan *frontier* di dunia nano, terbukti dengan paten di bidang nano untuk periode tahun 1976-2002 telah mencapai 56.828 paten, sedangkan Jepang baru 7.574, disusul oleh Perancis 2.087, kemudian negara-negara lainnya dalam jumlah ratusan (Tabel 5.2) .

Tabel 5.2 Daftar Paten Nanoteknologi

Rank	Assignee country	Number of patents
1	United States	56,828
2	Japan	7574
3	France	2087
4	United Kingdom	871
5	Switzerland	419
6	China (Taiwan)	382
7	Italy	377
8	Republic of Korea	368
9	the Netherlands	308
10	Australia	307
11	Sweden	264
12	Belgium	193
13	Finland	125
14	Denmark	104

Sementara itu Uni Eropa melalui British Standard (BS) menginisiasi ISO membuat standar teknologi nano (TC 229) untuk mewujudkan standar internasional tentang teknologi nano. AS pun sebenarnya ikut bergabung di ISO, dengan mengetuai WG3 : *Environmental Safety*. Sedangkan WG1 : *Terminology*, diketuai oleh Kanada; dan WG2 : *Measurement*, diketuai oleh Jepang.

## 1. PERKEMBANGAN STANDAR NANOTEKNOLOGI DI AS

Sejak Agustus 2004, AS telah membentuk *National Nanotechnology Initiative* (NNI) yang berwujud sebuah konsorsium yang bernama *Nanotechnology Standards Panel*. Tugas konsorsium/panel ini adalah mengawal partisipasi AS dalam pertemuan-pertemuan standardisasi nanoteknologi dunia. Selain dalam bentuk konsorsium/panel tersebut, beberapa institusi di AS juga aktif mempersiapkan draft standar nanoteknologi dan memberikan masukan-masukan yang berkaitan dengannya, antara lain:

- a. U.S. Technical Advisory Group, yang diketuai oleh American National Standards Institute (ANSI), yaitu grup yang khusus ikut berpartisipasi aktif di ISO TC-229 yang membicarakan standar nanoteknologi, yaitu *the Nanotechnology Technical committee (TS-229) in the International Organization for Standardization (ISO)*.
- b. ASTM (*American Society for Testing and Materials*) dengan membentuk komite

khusus untuk standar nanoteknologi yang bernama *International Technical Committee on Nanotechnology E56*.

c. *Organization for Economic Cooperation and Development (OECD)*

Saat ini, yang aktif mengeluarkan draft standar nanoteknologi di AS adalah *ASTM International E56 Committee*. Ruang lingkup kegiatan komite E56 adalah:

- mengembangkan standar dan petunjuk untuk nanoteknologi dan nanomaterial (*development of standars and guidance for nanotechnology and nanomaterials*).
- menyesuaikan/mengkoordinasikan standar ASTM yang sudah ada dengan kebutuhan dan perkembangan nanoteknologi (*the coordination of existing ASTM standardization related to nanotechnology needs*).

Butir-butir penting yang dibahas dalam sub-komisi ASTM E56 adalah:

- a. *Terminology & Nomenclature*
- b. *Characterization: Physical, Chemical and Toxicological Properties*
- c. *Environment, Health and Safety*
- d. *International Law & Intellectual Property*
- e. *Liaison & International Cooperation*
- f. *Executive*
- g. *Strategic Planning & Review*

## 2. PERKEMBANGAN STANDAR NANOTEKNOLOGI

Tahun 2005, Uni-Eropa dengan dimotori oleh British Standard Institute (BSI) menginisiasi ISO untuk membuat standar nanoteknologi, yang saat ini masih dalam tahap penggodogan di Technical Committee 229 (TC 229) untuk mewujudkan standar internasional untuk nanoteknologi. AS pun sebenarnya ikut bergabung di ISO, dengan mengetuai WG3: *Environmental Safety*. Sedangkan WG1: *Terminology*, diketuai oleh Kanada; dan WG2: *Measurement*, diketuai oleh Jepang.

Saat ini, yang telah menjadi anggota ISO TC 229 adalah 30 negara anggota, dan ada 10 negara *observer* [2]. Sekretariat TC 229 ada di British Standards Institute (BSI, UK) dan negara-negara anggota serta nama badan standardisasi nasionalnya tercantum pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Negara anggota ISO TC 229 dan nama badan standardisasinya

No	Negara	No	Negara
1	Australia (SA)	16	Japan ( JISC )
2	Austria (ON)	17	Kenya ( KEBS )
3	Belgium (NBN)	18	Korea, Republic of ( KATS )
4	Brazil (ABNT)	19	Malaysia ( DSM )
5	Canada (SCC)	20	Netherlands ( NEN )
6	China (SAC)	21	Poland ( PKN )
7	Czech Republic ( CNI )	22	Russian Federation ( GOST R )
8	Denmark ( DS)	23	Singapore ( SPRING SG )
9	Finland ( SFS )	24	South Africa ( SABS )
10	France ( AFNOR )	25	Spain ( AENOR )
11	Germany ( DIN )	26	Sweden ( SIS )
12	India ( BIS )	27	Switzerland ( SNV )
13	Iran, Islamic Republic of ( ISIRI )	28	Thailand ( TISI )
14	Israel ( SII )	29	UK (BSI)
15	Italy ( UNI )	30	USA (ANSI)

Sedangkan 10 negara peninjau (*observer*) di ISO TC 229 adalah Argentina (RAM), \_Egypt ( EOS ), Estonia ( EVS ), Hong Kong, China ( ITCHKSAR ), Ireland ( NSAI ), Mexico ( DGN ), Morocco ( SNIMA ), Norway ( SN ), Slovakia ( SUTN ) dan Venezuela ( FONDONORMA )

Ruang lingkup draf standar nanoteknologi yang dibicarakan di ISO TC 229, sedikit berbeda dengan draft standar yang dibuat oleh AS, yaitu dalam hal :

- a. *terminology & nomenclature*
- b. *metrology and instrumentation*

- c. *test methodologies*
- d. *modeling and simulation*
- e. *science-based health*
- f. *safety*
- g. *environmental practices*

Indonesia belum ikut sama sekali dalam ISO TC 229, walau sebagai *observer* sekali pun, padahal negara-negara berkembang lainnya di Asia seperti India, Iran, Malaysia dan Thailand telah menjadi anggota Komite Teknik tersebut. Terkait dengan standardisasi ini, BSN (Badan Standard Nasional) sebagai badan yang berwenang di bidang tersebut, seharusnya melibatkan diri secara lebih pro-aktif untuk melakukan koordinasi dengan institusi-institusi teknis. Intansi seperti LIPI, BPPT, Departemen Perindustrian, Departemen Perdagangan dan lain-lain diikutsertakan untuk mendukung partisipasi dalam pembuatan standar nanoteknologi ini, khususnya untuk penerapan di Indonesia.

### 3. PERDAGANGAN ANTARNEGARA

Isu lain yang berkembang adalah isu perdagangan antarnegara. Dengan berkembangnya pengembangan nanomaterial atau produk yang mempergunakan nanomaterial yang dilakukan tidak hanya oleh negara-negara maju semata, tetapi oleh negara-negara berkembang pun, perdagangan material atau produk nano antarnegara akan semakin intensif. Isu lingkungan, kesehatan, dan keselamatan akan menjadi bagian yang tak terpisahkan dalam perdagangan nanomaterial atau produk yang mengandung nanomaterial antarnegara. Dengan makin besarnya persaingan antarnegara, negara-negara yang khawatir terhadap perdagangannya akan berusaha mengendalikannya. Beberapa negara telah mengambil anca-ancang untuk mengendalikan perdagangan ini dengan membuat aturan-aturan yang ketat, salah satunya adalah REACH (*Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances*).

REACH adalah regulasi baru Uni Eropa tentang bahan kimia dan penggunaannya yang aman. Regulasi baru ini mulai diberlakukan pada 1 Juni 2007, tetapi selama satu tahun pertama sampai 31 Mei 2008 masih dalam persiapan kelembagaannya. Aturan ini efektif diberlakukan mulai 1 Juni 2008.

Aturan ini mungkin akan memberikan pengaruh terhadap perusahaan-perusahaan di luar Uni Eropa, termasuk Indonesia, untuk barang-barang ekspor yang mengandung beberapa barang berikut:

- Bahan kimia (bahan kimia dasar, bahan kimia khusus, logam, bahan alami yang dimodifikasi secara kimia), atau
- Campuran (*preparations*) dari bahan-bahan kimia, seperti produk pembersih, cat, pelumas motor), atau
- Bahan kimia atau campuran yang berada dalam kemasan (contoh: *printer cartridge*), atau
- Produk yang mengandung bahan kimia yang dapat lepas selama penggunaan (contoh parfum), atau
- Mengandung bahan kimia yang masuk dalam list “bahan kimia yang sangat diawasi”. List tersebut tersedia di website *European Chemicals Agency* (ECHA) sejak musim gugur (september/oktober) 2008.

Aturan ini berlaku untuk bahan yang diekspor ke 27 negara anggota Uni Eropa yaitu: *Austria, Belgium, Bulgaria, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Netherlands, Malta, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden and United Kingdom.*

Dengan REACH ini, perusahaan Importir EU atau perusahaan EU wajib melaporkan produknya yang mengandung bahan kimia yang masuk dalam daftar wajib lapor ke *European Chemicals Agency* (ECHA), apabila jumlahnya 1 ton atau lebih setiap tahun. Bagi negara-negara lain di luar EU yang ingin mengekspor produknya ke EU, maka harus membangun kerjasama dengan para Importir EU dengan memberikan data-data tentang produknya, penggunaan yang aman dan bahayanya.

Selain REACH ada pula ISO/PAS 28000 tentang “*Security management systems for the supply chain*” yang akan dapat pula menjadi hambatan dalam perdagangan internasional terutama dengan produk yang mengandung nanomaterial. Apalagi kalau standar ISO tentang nanoteknologi sudah diberlakukan, walaupun memberikan keuntungan tersendiri, standar ini dapat menjadi hambatan dalam perdagangan internasional yang mengandung nanoteknologi.

## **D. ISU STRATEGIS YANG PERLU MENDAPATKAN PERHATIAN UTAMA**

### **1. STANDAR KEAMANAN DAN KESELAMATAN NANOTEKNOLOGI**

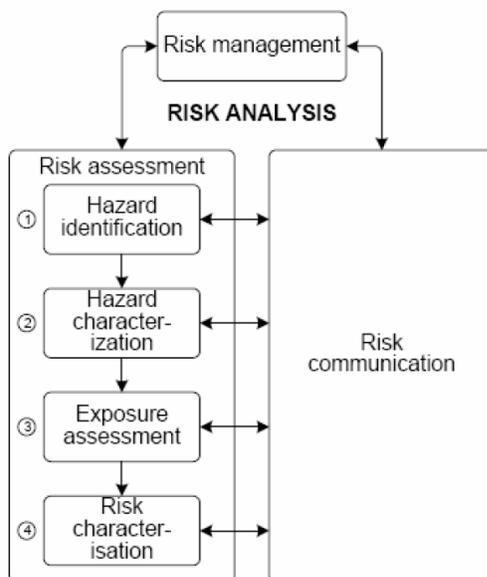
Sehubungan dengan isu standar dan sisi negatif nanoteknologi, maka sangat perlu diperhitungkan dan dipersiapkan langkah-langkah antisipasinya, agar pemanfaatan nanoteknologi dapat lebih optimal, dengan meminimalkan risiko

negatifnya, salah satunya dengan analisis resiko. Ketika akan melakukan pengembangan dan pemanfaatan nanoteknologi dalam industri, analisis yang benar tentang risiko ini harus dilakukan sejak awal. Karena dampak pada pekerja, konsumen atau lingkungan mungkin baru dapat dirasakan setelah beberapa tahun kemudian.

Untuk melakukan analisis risiko, ada tiga komponen penting saling terkait yang harus mendapatkan perhatian. Ketiga hal itu adalah *risk management*, *risk assessment*, dan *risk communication*, seperti diperlihatkan pada Gambar 5.3. Ketiga komponen ini dilaksanakan agar efek negatif terhadap lingkungan, kesehatan dan keselamatan dapat ditekan seminimal mungkin. Risiko-risiko yang mungkin timbul tidak cukup diteliti saja, tetapi yang lebih penting adalah perlunya komunikasi yang efektif dengan pihak-pihak yang terkait perlu dilakukan.

## 2. PENANGANAN BAHAN BERBAHAYA DAN BERACUN

Untuk melindungi pihak-pihak yang terlibat dalam pengembangan dan pemanfaatan nanoteknologi, terutama bagi pekerja (manusia) dan lingkungan, beberapa negara menganggap perlu untuk mereview peraturan perundang-undangan mereka. Amerika Serikat, misalnya, telah melakukannya terhadap peraturan tentang perlindungan masyarakat seperti *Toxic Substances Control Act (TSCA)*, *Occupational Safety and Health Act (OSHA)*, *Food, Drug, and Cosmetic Act (FDCA)*, *Environmental Laws (Clean Air Act (CAA), the Clean Water Act (CWA), Resource Conservation and Recovery Act (RCRA)*. Terhadap peraturan-peraturan ini, telah dilakukan evaluasi seberapa jauh peraturan tersebut efektif dalam mengatur pengembangan dan pemanfaatan produk nanoteknologi.

Gambar 5.3 Komponen Analisis Risiko<sup>1</sup>

Sebenarnya, pemerintah Republik Indonesia melalui Peraturan Pemerintah Nomor 74 tahun 2001 tentang pengelolaan bahan berbahaya dan beracun telah menetapkan definisi, karakteristik, dan mengatur pengelolaan bahan berbahaya dan beracun. Dalam peraturan tersebut (PP no.74/2001), Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) didefinisikan sebagai bahan yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya. B3 dapat diklasifikasikan sebagai:

- a. mudah meledak (*explosive*);
- b. pengoksidasi (*oxidizing*);
- c. sangat mudah sekali menyala (*extremely flammable*);
- d. sangat mudah menyala (*highly flammable*);
- e. mudah menyala (*flammable*);
- f. amat sangat beracun (*extremely toxic*);
- g. sangat beracun (*highly toxic*);
- h. beracun (*moderately toxic*);

<sup>1</sup> Catatan :

- **Hazard**: potensi yang mengakibatkan kerugian/bahaya (penyakit, ledakan)
- **Exposure**: konsentrasi bahan kimia yang terkena dikalikan dengan durasi
- **Risk**: kuantifikasi dari bahaya yang timbul

- i. berbahaya (*harmful*);
- j. korosif (*corrosive*);
- k. bersifat iritasi (*irritant*);
- l. berbahaya bagi lingkungan (*dangerous to the environment*);
- m. karsinogenik (*carcinogenic*);
- n. teratogenik (*teratogenic*); dan
- o. mutagenik (*mutagenic*).

Dalam PP No.74/2001 ini telah ditetapkan mekanisme pengangkutan, penyimpanan, pembuangan dan lain-lain. Salah satu yang menjadi syarat pengelolaan B3 adalah tersedianya lembar data keselamatan bahan (*Material Safety Data Sheet*).

Apabila dilihat definisi dan klasifikasi B3 tersebut, maka nanomaterial dapat dimasukkan dalam kelompok bahan ini, walaupun karakteristik nanomaterial sedang digali oleh para peneliti termasuk dampak-dampaknya. Dengan memasukkan nanomaterial ke dalam golongan ini akan lebih mudah untuk mengaturnya karena mekanisme pengaturan telah jelas dan telah diterapkan. Meskipun demikian, masih perlu pengaturan-pengaturan teknis lanjut di tingkat lapangan yang didukung oleh Departemen atau instansi teknis terkait.

### **3. KEBIJAKAN PEMERINTAH DALAM PENGEMBANGKAN NANOTEKNOLOGI DI INDONESIA**

Dalam Kebijakan Pembangunan Industri Nasional (KPIN) yang dikeluarkan oleh Departemen Perindustrian pada tahun 2005 belum tercantum penjelasan yang rinci tentang peran nanoteknologi untuk meningkatkan daya saing industri nasional. Pada Bab II tentang pembangunan industri jangka panjang di bagian sasaran pembangunan sektor industri dalam pembangunan jangka panjang tertulis "Kuatnya industri yang memiliki daya saing yang berkelanjutan sehingga menjadi industri kelas dunia dengan didukung oleh basis pengetahuan yang kuat termasuk *nanoteknologi*, ICT dan bioteknologi". Istilah nanoteknologi hanya dicantumkan satu kali saja pada bagian ini. Tidak ada penjelasan yang rinci tentang itu. Dengan pencantuman seperti ini terlihat kesan bahwa nanoteknologi sesuatu yang jauh dari industri dalam negeri.

Agar pembangunan dan pengembangan industri berbasis nanoteknologi dapat dilaksanakan dan mendapat dukungan para stakeholder, penyempurnaan KPIN perlu dilaksanakan. Nanoteknologi harus dapat menginspirasi industri untuk meningkatkan daya saingnya. Karena, untuk beberapa waktu kedepan, nanoteknologi

akan menjadi harapan pencapaian kesejahteraan umat manusia. Potensi ekonomi yang besar telah mendorong negara-negara maju, merevisi ulang strategi pengembangannya.

Dalam rapat koordinasi kementerian ristek 2008 yang mengundang pula Departemen Perindustrian, pengembangan dan pemanfaatan, nanoteknologi belum juga diarahkan menjadi program nasional yang memberikan dampak luas kepada para penentu kebijakan. Selain itu, pendekatan yang dilakukan oleh Departemen Perindustrian untuk pemanfaatan nanoteknologi di industri dapat menjadi faktor penghambat pula dalam memperoleh dukungan terutama instansi lain, dikarenakan instansi tersebut telah mempunyai kebijakan dan program tersendiri mengenai nanoteknologi.

Belum adanya kebijakan nasional terpadu dan kesadaran bersama nasional para penentu kebijakan terhadap nanoteknologi dapat menjadi hambatan bagi pengembangan industri berbasis nanoteknologi. Pengembangan dan pemanfaatan nanoteknologi harus mengikutsertakan seluruh *stakeholder* negara ini. Eksekutif, legislatif, yudikatif, masyarakat harus memiliki perhatian yang proporsional agar kemanfaatan nanoteknologi di bidang industri dapat dirasakan untuk kesejahteraan bangsa Indonesia. Kebijakan yang berimplikasi pada pembentukan institusi yang berwenang melakukan koordinasi lintas sektoral perlu dibuat agar Indonesia tidak jauh tertinggal dari negara lain.

Kebijakan pemerintah untuk mengembangkan nanoteknologi di Indonesia, harus dibuat secara holistik, bukan secara parsial di salah satu Departemen saja, tetapi kebijakan diambil setelah mendengarkan pendapat dan masukan dari seluruh *stakeholders*. Juga perlu adanya penanggungjawab pengawalan atas pelaksanaan kebijakan yang telah diambil.

Untuk itu, perlu dilakukan pengembangan produk, yang langkah-langkahnya dapat ditunjukkan pada Gambar 5.4, dan sebaiknya dilakukan secara serius oleh pemerintah Indonesia.



Gambar 5.4 Tahapan pengembangan produk

Lompatan-lompatan dalam langkah dapat dilakukan dengan terlebih dahulu mempertimbangkan jenis teknologi yang telah tersedia yang dapat dikomersialkan. Lompatan sangat efektif untuk teknologi yang telah siap. Untuk nanoteknologi sendiri, tampaknya masih diperlukan upaya-upaya merangkai seluruh aktifitas di atas. Meskipun, misalnya teknologi telah tersedia, tetapi masih ada hal-hal lain seperti dampak ke lingkungan, kesehatan, keselamatan yang belum terungkap dengan jelas yang perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Meskipun ada permasalahan seperti dijelaskan di atas, tetapi bukan berarti pendekatan yang sekarang diambil oleh pemerintah Indonesia tidak tepat. Pemilihan teknologi yang tepat dan ditunjang oleh penelitian yang terkoordinasikan akan mendukung pembentukan industri berbasis nanoteknologi di Indonesia dalam waktu dekat. Selain itu, perlu dilakukan koordinasi dengan pihak-pihak lain seperti Departemen Perdagangan, Departemen Kesehatan, Kementrian Lingkungan Hidup, Departemen Tenaga Kerja, dan Badan Standar Nasional agar aplikasi nanoteknologi di industri Indonesia dapat segera dikomersialisasikan lebih luas, karena sudah ada beberapa contoh produk yang memanfaatkan nanoteknologi yang sudah beredar di Indonesia, yang mengisyaratkan bahwa nanoteknologi sudah ada di sekitar kehidupan kita.

#### 4. PARTISIPASI DAN EDUKASI PUBLIK

Pengembangan dan pemanfaatan suatu teknologi baru memerlukan sumber daya manusia yang tidak sedikit. Sumber daya manusia yang handal sangat diperlukan mulai dari pengembangan teknologi sampai kepada pengembangan produk yang memanfaatkan teknologi tersebut. Pada penelitian dasar tentang nanoteknologi, walaupun instansi penelitian pemerintah sudah melakukan dengan sumber daya manusia yang ada, pengembangan lebih lanjut penelitian dasar itu memerlukan tambahan SDM yang lebih banyak lagi. Begitu pula kebutuhan industri yang memanfaatkan nanoteknologi.

Industri tidak hanya memerlukan SDM yang hanya memahami bahan-bahan industri yang selama ini ada. SDM industri memerlukan pelatihan yang menambah kemampuan dan pengetahuan mereka tentang nanoteknologi atau nanomaterial terutama tentang resiko dan cara penanganannya. Selain itu, untuk mendapatkan penerimaan masyarakat yang baik terhadap teknologi baru ini dan produknya, penyampaian informasi yang terpadu diperlukan. Penjelasan ini menjadi tanggung jawab pihak-pihak yang berkepentingan. Institusi penelitian memiliki tanggung jawab itu, Departemen teknis juga memiliki tanggung jawab itu, lembaga swadaya

masyarakat juga memiliki tanggung jawab itu, perusahaan pemasok produk nanoteknologi juga memiliki tanggung jawab itu. Penjelasan ini sangat diperlukan terutama terkait dengan isu dampak lingkungan, dampak terhadap kesehatan, dampak terhadap keselamatan dan dampak-dampak yang lainnya. Penerimaan yang baik dari masyarakat akan meningkatkan kemanfaatan dari teknologi ini.

Nanoteknologi memiliki dampak yang sangat luas. Dampak yang dapat diperkirakan atau yang belum dapat diperkirakan. Dampak ini akan dapat terlihat dengan makin banyaknya produk nanoteknologi ini dimanfaatkan. Untuk memantau dampak-dampak ini, diperlukan peran masyarakat yang luas. Masyarakat yang terdidik dengan baik tentang nanosains dan nanoteknologi akan dapat memberikan masukan yang membangun. Sebaliknya, masyarakat yang tak terdidik akan membuat suasana menjadi tidak kondusif.

Di negara-negara maju, upaya untuk memasyarakatkan teknologi ini terus dilakukan. Di banyak negara maju, telah dikembangkan metode-metode untuk memberikan pemahaman yang benar tentang nanoteknologi yang diperuntukkan bagi murid-murid dari mulai sekolah dasar. Film, game, buku cerita dan lain-lain telah dikembangkan untuk mendukung program pemasyarakatan ini. Di sini, peran institusi yang bertanggung jawab terhadap pendidikan sangat menentukan.

## E. RANGKUMAN

Fokus kajian isu strategis meliputi tiga aspek, yaitu isu di tingkat global, isu strategis yang dianggap penting oleh pemerintah, dan terakhir adalah isu yang dianggap penting oleh dunia industri/bisnis.

Secara global ada dua arus utama isu strategis, yaitu *pertama* perkembangan iptek. Pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek), khususnya di bidang teknologi nano, tidak saja penting sebagai sumber pertumbuhan dan daya saing ekonomi semata, tetapi juga sumber pengembangan peradaban. *Kedua* adalah perubahan tren industri di abad 21. Salah satu tren industri di abad ke-21 adalah era kompetisi perusahaan-perusahaan internasional yang diikuti dengan globalisasi bisnis.

Isu strategis di kalangan pemerintah pada abad ke-21 ini khususnya di negara-negara maju memfokuskan pada isu-isu penting mengenai kemajuan standar hidup, lingkungan dan daur ulang, utilisasi personal, informasi dan pengetahuan, serta penelitian dan pengembangan yang kreatif. Sedangkan isu strategis di kalangan industri/bisnis lebih fokus pada perdagangan dan komersialisasi (*Trade and commercialization*), keselamatan pekerja (*Worker safety*), proses manufaktur

(*Manufacturing processes*), Hak Kekayaan Intelektual [HKI] (*Intellectual Property*), pengembangan teknologi-teknologi baru (*Development of new technologies*), dan pasar baru (*New markets*).

Selain sisi-sisi positif nanoteknologi yang telah dibahas, sisi-sisi negatifnya juga sangat perlu diperhatikan, diperhitungkan dan dipersiapkan langkah-langkah antisipasinya, agar pemanfaatan nanoteknologi dapat lebih optimal, dengan meminimalkan resiko negatifnya. Isu standarisasi menjadi topik yang menarik dalam pengembangan dan pemanfaatan nanoteknologi. *International Organization for Standarditation (ISO)* sebagai salah satu organisasi dunia yang banyak membuat standar-standar internasional telah melakukan upaya-upaya untuk membuat standar terkait nanoteknologi. Salah satu upayanya adalah pembentukan ISO TC 229.

Dalam pengembangan industri berbasis nanoteknologi di Indonesia ada beberapa hal yang seharusnya mendapatkan perhatian dari pemerintah antara lain standar keamanan dan keselamatan nanoteknologi yang salah satunya terkait dengan penanganan bahan berbahaya beracun, dan kebijakan pemerintah dalam mengembangkan nanoteknologi serta partisipasi dan edukasi publik.

## BAB VI

# ROADMAP PENERAPAN NANOTEKNOLOGI

Di dalam bab ini akan dibahas roadmap penerapan nanoteknologi di beberapa cabang industri terpilih. Pembahasan diawali dengan penjelasan arti penting penerapan nanoteknologi di industri nasional, kemudian tentang penerapan nanoteknologi di industri tekstil dan terakhir tentang penerapan nanoteknologi di industri keramik.

### A. PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI NASIONAL

Gambar 6.1. menunjukkan roadmap pengembangan nanoteknologi berbasis sumber daya lokal untuk mendukung industri nasional melalui pendekatan *technology push - market pull*. Kombinasi pendekatan *technology push* dan *market pull* merupakan strategi yang sangat relevan karena mempertimbangkan tidak hanya diversitas dan pencarian peluang-peluang sumber daya dan kemampuan yang dimiliki, tetapi juga sekaligus mempertimbangkan permintaan dari konsumen. Roadmap didisain menjadi beberapa tingkatan dari bawah ke atas yang masing-masing memiliki perspektif tahapan dari sumber daya, teknologi, infrastruktur, produk dan pasar yang diwakili oleh keberadaan industri prioritas. Sementara itu, arah horizontal menunjukkan batasan waktu yang harus ditempuh oleh sebuah elemen roadmap. Segi empat yang melingkupi elemen atau kelompok elemen menunjukkan jangka waktu yang harus dipenuhi dalam satu fase atau beberapa fase dimana elemen atau kelompok elemen tersebut berada. Misalnya, elemen keramik dan tekstil berada di FASE 1 yang berarti bahwa industri prioritas keramik dan tekstil harus diprioritaskan pada fase tersebut. Di sisi lain, kelompok elemen mineral, sumber nabati dan hewani, SDM, Energi dan Finansial merupakan sumber daya yang harus dimanfaatkan sepanjang Fase 1 sampai FASE 3.

Untuk mencapai visi dan misi industri nasional yang telah dirumuskan di dalam KIN, maka roadmap pengembangan nanoteknologi dibagi menjadi tiga fase dengan jangka waktu masing-masing selama lima tahun. Pada FASE 1, pengembangan nanoteknologi difokuskan untuk memanfaatkan sumber daya mineral, nabati dan hewani, SDM, energi dan finansial yang dimiliki seoptimal mungkin dengan berbagai teknologi yang sederhana dan telah dikuasai untuk menghasilkan produk bahan baku berupa partikel-partikel nano yang memiliki nilai tambah yang sangat tinggi. Berbagai teknologi proses penunjang berupa teknik purifikasi, ekstraksi, separasi, *smelting*, filtrasi dan lain sebagainya harus segera dikuasai. Kemudian pengembangan teknologi pembuatan

nanopartikel seperti milling, grinding, penguapan dan sol-gel harus mendapat prioritas utama, sehingga diharapkan dalam waktu lima tahun teknologi tersebut sudah dikuasai dan digunakan untuk memproduksi nanopartikel seperti material nano-keramik, nanoporos, dan nanopartikel logam secara massal guna memenuhi kebutuhan nasional khususnya dan dunia pada umumnya yang semakin besar.

Berbagai partikel nano yang telah dibuat secara massal dapat dimanfaatkan untuk membuat produk teknologi seperti nano-coating, nano-komposit, nano-polishing, nano-katalis dan nanopolimer, sehingga dengan sendirinya akan mengakselerasi penguasaan berbagai produk teknologi tersebut. Dengan memanfaatkan bahan baku nanopartikel dan produk teknologi yang ada maka dapat diprioritaskan industri-industri nasional yang telah memiliki kesiapan dalam penerapan teknologi ditinjau dari sumber daya yang tersedia, kemudahan penguasaan teknologi, dan kesiapan infrastruktur penunjang, seperti industri keramik, industri tekstil, pangan dan kimia. Dengan memanfaatkan bahan baku nanopartikel dan produk teknologi nano, diharapkan terjadi peningkatan kualitas dan kuantitas produksi sekaligus daya saing industri-industri yang telah diprioritaskan khususnya dan industri-industri nasional yang lainnya yang berbasis bahan baku lokal.

Pada FASE 1, peningkatan kapabilitas SDM baik dari kalangan peneliti dan industri harus menjadi prioritas program unggulan dengan melakukan training-training, peningkatan strata pendidikan dan pemberian insentif grant riset di bidang peningkatan kapasitas industri. Insentif ini juga ditujukan untuk memperbaiki *linkage* sekaligus meningkatkan hubungan dan peran peneliti dalam dunia industri. Seiring dengan peningkatan kinerja industri nasional, diharapkan pemerintah telah mulai memperbaiki dan menyediakan sarana dan prasarana yang akan menunjang pengembangan nanoteknologi pada fase selanjutnya.

Di sisi lain, untuk peningkatan nilai ekonomi sumber daya lokal melalui pemberian nilai tambah dengan nanoteknologi sebelum dimanfaatkan secara bisnis, maka perlu dibuat juga berbagai peraturan/ kebijakan yang membatasi atau mengatur sistem perdagangan bahan baku lokal baik berupa mineral, energi dan sumber daya lainnya. Sebagai contoh adalah penerapan kebijakan fiskal yang mengatur tarif ekspor, kuota atau larangan pada bahan baku lokal. Kebijakan-kebijakan yang lain yang secara langsung maupun tidak langsung terhadap rantai sistem industri-industri yang diprioritaskan harus dapat dirumuskan secara seksama dan terintegrasi sehingga tidak perlu terjadi kebijakan yang kontra produktif.

FASE 2 merupakan fase dimana industri-industri nasional yang diprioritaskan pada FASE 1 sudah mulai dapat bersaing ditingkat global. Pada fase ini, teknologi proses

awal pengolahan sumber daya mineral, sumber daya nabati dan hewani sudah dikuasai, sehingga memungkinkan untuk melakukan pengembangan-pengembangan teknologi me-nano-kan material dengan berbagai metoda dalam jumlah yang besar. Di sini, diharapkan akan terjadi akselerasi yang signifikan terhadap pemanfaatan bahan baku lokal yang telah diberikan sentuhan nanoteknologi sehingga bernilai ekonomis tinggi.

Berbagai teknologi produksi massa pembuatan nanopartikel dari bahan baku lokal yang telah dipurifikasi seperti *spray dryer*, *self assembly*, atomisasi dan lain sebagainya mulai diaplikasikan secara massal dan produk-produk teknologi telah diterapkan pada industri-industri prioritas seperti industri otomotif, industri polimer dan lain sebagainya. Di fase ini, kebutuhan nanomaterial dalam negeri telah dapat dipenuhi sebagian besar.

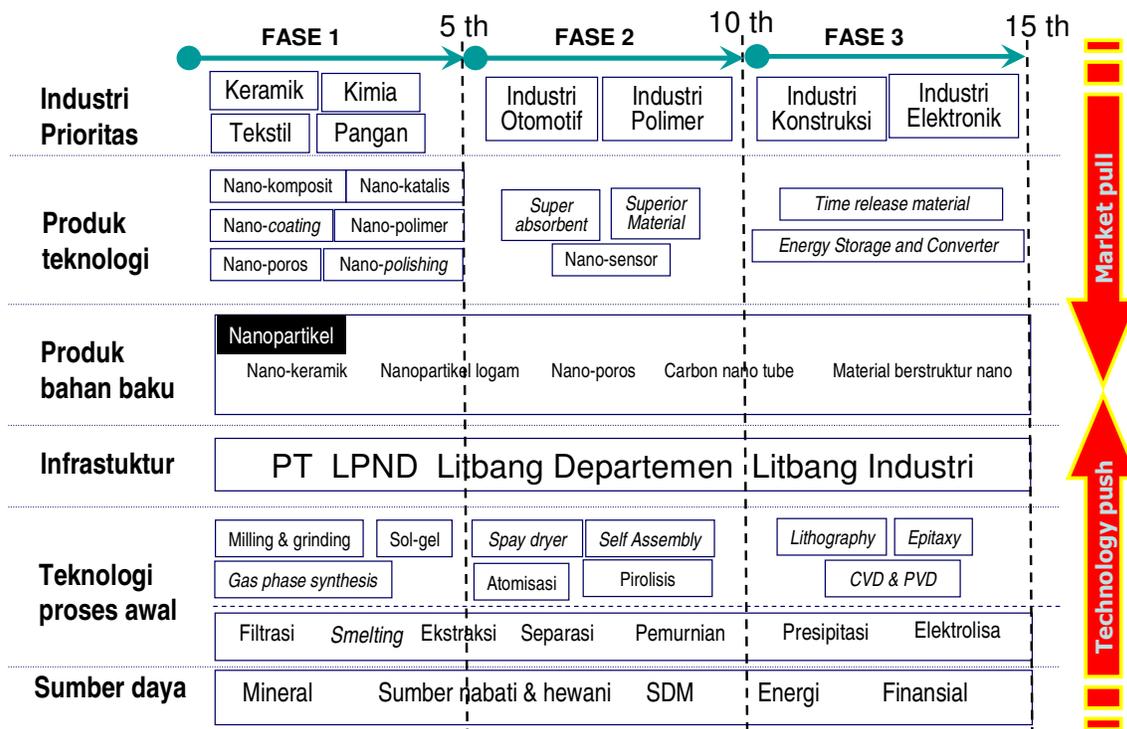
Pada fase ini, prasarana dan sarana dasar untuk pengembangan nanoteknologi telah dimiliki dan pemerintah telah mulai mengidentifikasi sekaligus mengadakan peralatan-peralatan untuk pengembangan produk nanoteknologi generasi kedua, yang akan menjadi fokus pengembangan pada fase selanjutnya, seperti produk-produk elektronik, ICT dan lain sebagainya. Eksplorasi secara besar-besaran dari sifat-sifat dan fenomena nanomaterial serta fungsionalisasi partikel-partikel nano yang telah dapat dibuat harus menjadi prioritas utama menuju tahapan selanjutnya yang lebih kompleks yaitu membuat nano-produk. Kemudian, pengembangan-pengembangan material berstruktur nano untuk struktural material sudah mulai diterapkan pada industri-industri manufaktur untuk meningkatkan efisiensi dan kekuatan.

Pada fase ini juga, kebijakan-kebijakan pemerintah yang mengarah pada perlindungan industri-industri manufaktur yang menerapkan nanoteknologi harus dirumuskan secara terintegrasi. Pemberian insentif pada industri yang menerapkan nanoteknologi juga perlu dilakukan baik berupa keringanan pajak dan penyediaan infrastruktur yang menunjang.

Pada FASE 3, diharapkan industri nasional yang diprioritaskan pada fase-fase sebelumnya telah eksis ditataran global dengan sentuhan nanoteknologi. Berbagai produk-produk bahan baku nano yang dapat diproduksi secara massal telah mulai diekspor ke luar negeri dengan harga yang kompetitif. Fungsionalisasi berbagai nanopartikel sudah dikuasai dan mulai diterapkan pada industri terpilih nasional. Seiring dengan peningkatan kinerja industri nasional, pemerintah harus memfokuskan pada penyediaan peralatan-peralatan canggih guna mendukung industri manufaktur yang berbasis teknologi tinggi, seperti industri elektronik, ICT, industri presisi tinggi, industri pengobatan sistem target dan lain sebagainya.

Dengan memanfaatkan keunggulan komparatif berupa sumber daya lokal dan produk teknologi yang telah dikuasai, diyakinkan dapat meningkatkan keunggulan

kompetitif industri nasional untuk memenangkan persaingan di era global. Dengan demikian nanoteknologi telah menjadi kunci penguatan industri nasional.



Gambar 6.1. Roadmap pengembangan nanoteknologi untuk mendukung industri nasional melalui pendekatan *market pull – technology push*.

## B. PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI TEKSTIL

Industri Tekstil dan Produk Tekstil (TPT) Indonesia secara proses teknis dapat dibagi dalam tiga kelompok yang terintegrasi dari hulu sampai hilir, yaitu sebagai berikut :

- Kelompok Industri Hulu (*upstream*), yaitu industri yang memproduksi serat (*fiber*), baik serat alam maupun serat sintetis, dan proses pemintalan (*spinning*) menjadi produk benang (*unblended* dan *blended yarn*). Industrinya bersifat padat modal, mesin terotomatisasi penuh (*full automatic*), berskala besar, jumlah tenaga kerja relatif kecil sehingga rasio output per tenagakerja menjadi besar.
- Kelompok Industri Menengah (*midstream*), meliputi proses penganyaman (*interlacing*) benang menjadi lembaran kain mentah (*grey fabric*) melalui proses penenunan (*weaving*) dan perajutan (*knitting*) yang kemudian diolah lebih lanjut melalui proses pengolahan pencelupan (*dyeing*), penyempurnaan (*finishing*) dan cap (*printing*) menjadi kain jadi. Industrinya bersifat semi padat modal, teknologi madya dan modern, dinamis dan jumlah tenaga kerjanya lebih besar dari kelompok industri hulu.

- Kelompok Industri Hilir (*downstream*), yaitu industri manufaktur pakaian jadi (*garment*) yang melibatkan proses pemotongan (*cutting*), penjahitan (*sewing*), pembersihan (*washing*) dan proses *finishing* yang menghasilkan garmen siap pakai. Kelompok ini yang paling banyak menyerap tenaga kerja sehingga industrinya bersifat padat karya.

Sementara itu apabila ditinjau berdasarkan bentuk produknya yang diekspor, maka TPT dapat dikelompokkan menjadi serat (alami dan buatan atau sintesis), benang, kain, pakaian jadi (*garmen*) dan produk tekstil lainnya berupa karpet, kawat benang, label, *badge*, pita dan sejenisnya, tekstil untuk aplikasi rumah, *conveyor belt*, dan lainnya

Nanoteknologi memiliki potensi komersial yang nyata dalam industri tekstil, selain itu aplikasinya sangat luas mulai dari baju sehari-hari, *T-Shirt* dan kostum olahraga hingga tekstil rumah tangga seperti tirai, seprai dan penutup sofa. Dampak dari nanoteknologi juga terdapat dalam rangkaian proses mulai dari pembuatan serat hingga produk jadi. Hal ini dikarenakan pada kenyataan bahwa metode konvensional yang digunakan untuk menghasilkan bermacam-macam sifat pada kain tidak dapat memberikan efek permanen, dan akan kehilangan fungsinya setelah penggunaan atau pencucian. Nanoteknologi dapat memberikan afinitas yang lebih baik sehingga meningkatkan daya tahan kain.

## 1. APLIKASI NANOTEKNOLOGI PADA PRODUKSI SERAT

Serat nano (*nanofiber*) memiliki ukuran bervariasi mulai dari satu mikron hingga sekecil puluhan nanometer. Nanofiber diproduksi dengan proses *electro-spinning* menggunakan berbagai macam jenis bahan baku seperti karbon. Serat halus kemudian dikumpulkan dalam lembaran *non-woven*. Nanofiber yang dihasilkan dengan metode ini memiliki pelapisan yang bagus dengan bobot yang sangat ringan. Lembaran *non-woven* yang sangat halus ini dapat digunakan sebagai membran berpori pada pakaian olahraga yang berfungsi mengalirkan keringat dan udara keluar namun mencegah tetesan air bisa masuk.

Dalam jumlah tertentu nanofiber dapat digabungkan pada permukaan benang untuk menghasilkan sifat khusus. Nanofiber yang digunakan tidak harus material yang sama dengan basis benang yang akan digunakan. Sebagai contoh, nanofiber yang dapat menetralkan berbagai macam senyawa kimia digunakan untuk menghasilkan baju yang dapat memberikan perlindungan. Nanofiber karbon dan nanopartikel karbon hitam sangat efektif sebagai bahan penguat untuk serat komposit. Dengan perbandingan yang tinggi, nanofiber karbon secara efektif dapat

meningkatkan kuat tarik dari serat komposit. Nanopartikel karbon hitam dapat meningkatkan ketahanan abrasi dan daya tahan serat komposit.

Poliamida dengan sifat anti UV juga telah dikembangkan dengan mendispersikan partikel oksida titanium dengan ukuran diameter 500 nm ke dalam polimer. Benang yang dihasilkan dapat dipintal dan memiliki faktor perlindungan UV hingga mencapai 80. Dengan segala keunggulannya, nanofiber hingga kini masih sangat mahal dan belum dapat diproduksi secara massal sehingga aplikasinya masih memerlukan pengembangan.

## 2. PRINTING DAN PEWARNAAN

Walau pun masih dalam pengembangan tahap awal, terutama dalam aplikasi pewarnaan dan pencetakan tekstil, namun nanoteknologi sudah dapat meningkatkan kemampuan pewarnaan serat yang tidak mungkin diperoleh dengan metode konvensional. Hingga kini teknologi yang tersedia untuk pembuatan polipropilene yang dapat diberi warna tergantung pada kopolimerisasi, poliblanding dan teknologi grafting, serta perlakuan plasma. Penerapan nanoteknologi dapat memproduksi plastik polipropilene yang lebih mudah diwarnai. Dimodifikasi dengan garam amonium kuartener, filler *nanoclay* telah diaplikasikan pada serat polipropilene sehingga memiliki struktur yang kompak serta lebih sedikit gugus penarik warna. Setelah memasukkan *nanoflake* (serpihan) dalam serat, polipropilene dapat diwarnai dengan asam dan dispersan pewarna. *Nanoclay* yang sudah dimodifikasi memberikan gugus penarik warna pada serat polipropilene dan menghasilkan ruang kosong di dalam serat untuk menarik warna tanpa mengurangi sifat polipropilene.

Hingga kini pigmen digunakan secara luas sebagai pewarna pada printing tekstil dan pewarnaan. Ukuran partikel pigmen mempengaruhi dispersi, kemampuan, intensitas dan kecepatan dari pewarnaan. Ketika ukuran pigmen dalam skala nano, efek penghamburan pigmen akan meningkatkan intensitas warna. Dispersi dan kemampuan warna dari nano-pigmen lebih baik dari pigmen dengan ukuran yang lebih besar.

## 3. PENYEMPURNAAN (*FINISHING*)

Aplikasi nanoteknologi pada tekstil yang paling berkembang saat ini adalah pada tahap penyempurnaan atau *finishing*. Proses penyempurnaan dapat dilakukan dengan nano-emulsifikasi yang dapat memberi efek kimia kepada serat lebih baik dibandingkan metode tradisional. Senyawa kimia dapat secara langsung dan inheren terikat pada serat pada skala nano, dimana metode konvensional yang biasanya

menggunakan pengikat atau pelapis hanya dapat mengaplikasikan senyawa kimia pada permukaan saja. Efek nanoteknologi pada tekstil membuat lebih tahan terhadap pencucian atau gesekan. Salah satu aplikasi nanoteknologi pada proses finishing adalah sifat anti air dan anti minyak pada serat alam dan serat sintetis. Dosis yang diberikan tidak akan mempengaruhi kain, rasa, warna bahkan perlakuan terhadap kain tenun.

#### 4. APLIKASI KHUSUS

Aplikasi nanoteknologi memungkinkan tekstil untuk bersifat multifungsi dan menghasilkan kain dengan fungsi khusus, misalnya anti UV, anti bakteri, penyerap atau anti infra merah dan anti api. Kain-kain seperti ini digunakan untuk pembuatan seragam militer, pakaian medis dan seragam pemadam kebakaran.

Oksida logam berskala nano seperti  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ , dan  $\text{MgO}$  memiliki kemampuan foto-katalitik, konduktivitas elektrik, absorpsi UV, dan kapasitas foto-oksidasi terhadap senyawa kimia atau spesies biologi. Kain yang diproses dengan oksida logam ini akan menghasilkan sifat antimikroba, dekontaminasi sendiri (membersihkan diri sendiri) dan menghambat UV. Pelapis nano  $\text{TiO}_2$  ketika ada sinar UV akan mengoksidasi banyak bahan organik menjadi partikel yang lebih kecil seperti  $\text{CO}_2$  dan air. Sifat ini merupakan potensi aplikasi yang dapat menghasilkan kain fotokatalis antibakteri yang mampu membersihkan sendiri dari pengotor organik, polutan lingkungan dan mikroorganisme yang membahayakan.

Pelapisan nano pada tekstil dapat diterapkan sehingga dapat menghasilkan sifat memperbaiki diri sendiri. Pelapisan nano didasarkan pada lapisan-lapisan tunggal yang tersusun sendiri (*self-assembled monolayers*), dimana molekul kimia membentuk lapisan tunggal pada substrat dengan ketebalan skala nanometer. Tambahan lapisan dapat diberikan dengan ketebalan skala nanometer. Ketika molekul kimia pada lapisan atas rusak tanpa sengaja oleh gaya luar, titik yang hilang akan digantikan oleh molekul dari sumber penyimpanan di dalam lapisan-lapisan nano. Kain dengan pelapisan nano ini dapat dimanfaatkan untuk pakaian militer dan olahragawan.

Selanjutnya dengan nanoteknologi senyawa aktif dapat dilekatkan pada permukaan kain atau bahkan di dalam kain pada saat produksi serat selulosa dan serat sintetis. Senyawa aktif yang berupa nanokapsul ketika terikat secara kimia pada kain atau serat, dapat berfungsi sebagai pembawa untuk molekul gugus fungsional lainnya seperti parfum, agen obat, agen antibakteri dan lain-lain. Senyawa aktif ini akan dilepaskan selama pemakaian ketika terjadi kontak langsung dengan kulit.

Ketika gesekan mengaktivasi pelepasan, fungsi ini akan berkurang yang disebabkan lama pemakaian. Di masa mendatang, dimungkinkan untuk mengisi ulang fungsionalitas ini melalui metode pencucian di laundry. Tekstil beraroma dapat dibuat dengan menambahkan nano-enkapsulasi partikel aroma pada permukaan kain untuk kaus kaki, seprai dan pakaian dalam.

Fungsi lain dari nano-kapsul adalah dalam material berubah fasa (*Phase Change Material*, PCM). PCM adalah material yang dapat berubah dari cairan menjadi padatan dan sebaliknya dengan cara melepas atau menyerap panas. Pakaian yang dilapisi dengan PCM dapat digunakan untuk membantu pemakai beradaptasi dengan cuaca. Ketika PCM bertambah ketat, akan lebih banyak udara yang melewati pakaian, dan menjaga kesejukan. Sebaliknya, ketika pakaian lebih dingin, serat berekspansi dan hanya sedikit udara yang dapat meliwati kain.

Perangkat keras yang dapat dikenakan (*wearable hardware*) dibuat dengan melapisi polimer konduktif skala nano pada kain yang dapat mengubah gaya mekanik menjadi sinyal elektrik. Jika pakaian dipakai di kulit, maka pakaian akan memonitor fungsi tubuh dan sinyal vital seperti ritme detak jantung. Sedangkan komposit yang diperkuat *nanotube* menghasilkan serat kuat namun ringan dengan sifat konduktivitas termal dan elektrik memberikan kemampuan elektronik pada pakaian, memungkinkan aplikasi ponsel dan komputer namun dengan sentuhan yang tidak berbeda dengan produk tekstil konvensional.

## 5. ROADMAP PENGEMBANGAN NANOTEKNOLOGI UNTUK INDUSTRI TEKSTIL INDONESIA

Industri tekstil Indonesia merupakan industri prospektif dengan pasar yang potensial di Indonesia. Namun industri tekstil masih menghadapi berbagai macam kendala baik secara teknologi maupun faktor lain seperti maraknya impor ilegal. Kondisi permesinan umumnya sudah tergolong tua dengan metode produksi yang konvensional. Akan tetapi ditengah permasalahan klasik yang membayangi, industri tekstil Indonesia harus berani mengambil langkah visioner termasuk dengan menerapkan nanoteknologi untuk meningkatkan daya saingnya.

Nanoteknologi pada Industri tekstil sudah mulai diaplikasikan meski pengembangannya belum berjalan lama, terutama untuk meningkatkan kualitas produk yang telah ada dipasaran. Penerapan nanoteknologi dilakukan dalam tiga tahap, meliputi jangka pendek, menengah dan panjang, sehingga diharapkan dapat

memberi pengaruh yang signifikan secara komersial. Berikut merupakan roadmap penerapan nanoteknologi di industri tekstil :

Jangka pendek (1-5 tahun)

Pengembangan proses *finishing fabric*, seperti sifat anti air, anti minyak, anti bau dan lain-lain.

Jangka menengah (5-10 tahun)

- Aplikasi nanomaterial pada proses pewarnaan dan pembuatan serat dapat terwarnai (*dyeable fiber*).
- Aplikasi nanomaterial fungsional pada proses produksi serat untuk menambahkan sifat tertentu: anti air, anti minyak, anti noda, anti kusut dan pengatur kelembaban (*breathable/humidity transport*).

Jangka panjang (>20 tahun)

- Pengembangan tekstil dengan kendali bau atau menangkap bau
- Pengembangan pakaian dengan regulator temperatur.
- Pengembangan material reflektif dan pelindung sinar UV.
- Pengembangan nanokapsul dengan bahan perubah fasa.
- Pengembangan tekstil dengan material cerdas baru.
- Aplikasi material superior (misal CNT) pada tekstil.



Gambar 6.2. Roadmap pengembangan nanoteknologi untuk industri tekstil

### C. PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI KERAMIK

Penerapan nanoteknologi di industri keramik berawal dari kebutuhan industri akan bahan nanokeramik yang dapat memberikan nilai tambah pada produk akhir. Kebutuhan akan penguasaan teknologi maju bahan keramik sebetulnya sudah disinggung pada Kebijakan Industri Nasional (KIN), seperti pada Lampiran 1. Beberapa permasalahan penting yang dihadapi dalam pengembangan industri keramik nasional antara lain adalah :

- a. Bahan glazur dan pigmen yang mempunyai nilai tinggi masih diimpor;
- b. Belum adanya fasilitas penyiapan (pemurnian dan pencampuran) bahan baku;
- c. Pasokan gas bumi tidak stabil dan harga jual dalam US Dollar.

Sasaran pengembangan dalam jangka menengah, antara lain meningkatnya pertumbuhan ekspor untuk keramik berkualitas tinggi sebesar 10 % per tahun dan tumbuhnya industri pemurnian bahan baku dan pencampuran untuk keramik maju dengan dukungan litbang. Dalam jangka panjang sarannya adalah meningkatkan kemampuan bersaing untuk jenis-jenis keramik bernilai, termasuk *fine ceramics*.

Pokok-pokok rencana aksi jangka menengah yang akan dilaksanakan dalam rangka mewujudkan sasaran tersebut diatas antara lain, mempromosikan investasi untuk pemurnian bahan baku *clay*, *feldspar*, pasir silica, *pigment*, dan *glazur*. Sementara itu, pokok-pokok rencana aksi yang akan dilaksanakan dalam jangka panjang adalah mengembangkan kemampuan Balai Besar Keramik di bidang *fine ceramics*.

Berdasarkan data KIN tersebut, secara umum *state of the art* industri keramik Indonesia masih pada taraf industri keramik konvensional. Industri keramik tersebut dibangun berbasis pada SDA yang ada yaitu feldspar, clay, pasir besi, pasir silika dan batu kapur sebagai penyusun dasar bahan keramik yang akan diproduksi. Pemanfaatan teknologi proses kimia lanjut untuk pemurnian belum dilakukan, mengingat keterbatasan kemampuan litbang yang ada sehingga di dalam KIN dibuat Rencana Jangka Panjang penguasaan teknologi Fine Keramik, termasuk keramik kualitas tinggi.

Untuk memvalidasi kondisi terkini industri keramik nasional, diperlukan suatu survei penerapan nanoteknologi di industri keramik. Diharapkan dari hasil survei akan dapat dibuat suatu rancangan roadmap penerapan nanoteknologi di industri keramik terkait

#### 1. SURVEI PENERAPAN NANOTEKNOLOGI DI INDUSTRI KERAMIK DAN GELAS

Industri keramik dan gelas yang dijadikan obyek survei adalah satu perusahaan PMA produsen ubin keramik (*ceramic tiles*) berbasis teknologi Italia dengan memanfaatkan teknologi *digital printing* untuk menciptakan pola pada bahan ubin keramik. Semua bahan dasar keramik memanfaatkan bahan baku lokal.

Teknologi *digital printing* ini dibantu dengan teknologi Laser untuk menciptakan *patterning* secara presisi dalam orde mikrometer. Untuk memperoleh pola sesuai disain, diperlukan pigmen yang memiliki presisi tinggi. Untuk itu digunakan nanopartikel pigmen yang masih diimport dari perusahaan di Eropa.

Survei industri gelas dilakukan pada industri PMDN, yang memproduksi kaca gelas. Di masa mendatang akan dibangun pabrik yang memproduksi kaca gelas *low emission* untuk mengantisipasi penghematan listrik di dalam bangunan yang menggunakan AC. Teknologi yang digunakan diperkirakan memanfaatkan nanopartikel keramik yang mampu bersifat sebagai penahan sinar UV atau menyerap secara selektif gelombang optik dari sinar matahari.

Industri ketiga yang disurvei adalah produsen kaca film V-Kool. Kelebihan kaca film ini adalah bersifat menyaring panjang gelombang tertentu dari sinar UV sehingga ruang kendaraan/mobil dapat tetap dingin selagi memanfaatkan AC. Hal ini juga mengurangi efek rumah kaca secara umum.

Dari ketiga kasus tersebut diperoleh gambaran bahwa pemanfaatan nanopartikel keramik paling tidak meliputi beberapa bidang aplikasi, yaitu :

- Untuk keperluan coating atau pelapisan pada keramik lantai/dinding dengan memanfaatkannya juga sebagai pigmen yang presisi
- Untuk keperluan bahan komposit gelas sebagai penyaring sinar UV agar diperoleh sifat *low emission glass* atau bahan gelas emisi rendah.
- Untuk keperluan kaca film superplastik yang mampu menyaring sinar UV sehingga mampu sebagai lapisan retardasi dari gelombang tertentu.

## 2. ROADMAP PENERAPAN NANOTEKNOLOGI PADA INDUSTRI KERAMIK

Mengingat pentingnya potensi nanoteknologi di dalam proses nilai tambah pada kegiatan industri maka diusulkan satu roadmap penerapan nanoteknologi pada industri keramik (Gambar 6.3). Pemanfaatan nanoteknologi di industri keramik diterapkan pada beberapa jenis produk seperti, ubin keramik, gelas atau kaca film, keramik lapisan pada otomotif, perangkat komponen elektronik, perangkat kesehatan serta bahan kosmetika.

Road Map Aplikasi Nanoteknologi Pada Industri Keramik			
WAKTU	Fase-I	Fase-II	Fase III
	2010-2014	2015-2019	2020-2025
PRODUK	<ul style="list-style-type: none"> <li>LANTAI KERAMIK</li> <li>KACA EMISI RENDAH</li> <li>KEDAP AIR/DEBU</li> <li>OTOMOTIF PART</li> <li>SUKU CADANG ALAT KESEHATAN</li> <li>TABIR SURYA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>KACA FILM PINTAR</li> <li>LANTAI KERAMIK PINTAR</li> <li>SMART OTOMOTIF PART</li> <li>SUKU CADANG ELEKTRONIK</li> <li>BAHAN KESEHATAN(MRI)</li> <li>TABIR SURYA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ECO SMART FILM/CERAMIC</li> <li>ECO SMART OTOMOTIF PART</li> <li>ECO SMART ELECTRONIC PART</li> <li>BAHAN KESEHATAN(MRI)</li> <li>TABIR SURYA</li> </ul>
TEKNOLOGI FABRIKASI	<ul style="list-style-type: none"> <li>PENCETAKAN DIGITAL</li> <li>CVD/ SPRAY COATING</li> <li>FINE CERAMIC TECH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PENCETAKAN DIGITAL</li> <li>CVD/ ECO-SPRAY COATING</li> <li>FINE CERAMIC TECH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PENCETAKAN DIGITAL</li> <li>CVD/ ECO-SPRAY COATING</li> <li>NANO CERAMIC TECH</li> </ul>
BAHAN BAKU (NANOMATERIAL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>SUB MIKRO-PIGMEN</li> <li>SUB MIKRO TITANIA, ZIRKONIA &amp; CARBON BLACK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>NANOPARTIKEL -PIGMEN</li> <li>NANO:TITANIA,ZIRKONIA &amp; CARBON BLACK</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>STRUKTUR NANO;</li> <li>PIGMEN, TITANIA, ZIRKONIA &amp; CARBON</li> </ul>
TEKNOLOGI PROSES ANTARA	<ul style="list-style-type: none"> <li>PEMURNIAN/SEPARASI</li> <li>SINTESA NANOPARTIKEL</li> <li>TEKNOLOGI SOL_GEL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>PEMURNIAN/SEPARASI</li> <li>SINTESA STRUKTUR NANO</li> <li>TEKNOLOGI SOL_GEL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SINTESA SWA RAKIT</li> <li>SINTESA STRUKTUR NANO</li> <li>TEKNOLOGI SOL-GEL</li> </ul>
BAHAN DASAR	FELDSPAR, SILIKA, CLAY, PASIR BESI, TITANIA, ZIRKONIA, CARBON BLACK (BATU BARA)	KERAMIK OKSIDA, SILIKA, CERIA, PASIR BESI, TITANIA, ZIRKONIA, CARBON, BIO KERAMIK	KERAMIK OKSIDA DAN NON OKSIDA, BIO KERAMIK

Gambar 6.3. Roadmap Pengembangan Nanoteknologi untuk Industri Keramik

Proses pertambahan nilai (*value chain process*) pada roadmap ini melalui tahapan sebagai berikut :

bahan dasar → teknologi proses antara → nanomaterial (bahan baku) → teknologi fabrikasi → produk akhir.

Dalam penguasaan teknologi fabrikasi, dalam roadmap ini dilalui tiga fase, yaitu : Fase pertama (5 tahun pertama), Fase kedua (5 tahun kedua) dan Fase ketiga (5 tahun terakhir).

#### Fase I :

Di dalam periode lima tahun pertama roadmap ini difokuskan pada kegiatan penelitian industri pembuatan serta pemanfaatan bahan sub-mikro berbasis Sumber Daya Alam keramik terpilih sehingga dapat mencapai 70% dari seluruh kebutuhan. Proses sintesa memanfaatkan teknologi proses yang dikuasai mencapai 30% dari kegiatan. Teknologi fabrikasi pada tahap ini dapat didatangkan dari luar negeri untuk dapat mengantisipasi persaingan global. Produk-produk yang diharapkan meningkat daya saingnya adalah ubin keramik, gelas atau kaca emisi rendah, keramik lapisan untuk otomotif, perangkat elektronik, perangkat kesehatan dan bahan kosmetik.

**Fase II:**

Pada periode lima tahun kedua, kegiatan difokuskan untuk dapat membuat bahan baku nanomaterial keramik dengan memanfaatkan sumber daya alam 50% serta sintesa bahan baru 50%. Teknologi fabrikasi pada tahap ini mulai memanfaatkan sumber daya teknologi domestik 50% dari keperluan teknologi yang ada. Produk akhir yang diharapkan sudah bersifat nanomaterial keramik cerdas secara fungsional (*smart nanomaterial*).

**Fase III:**

Pada tahap lima tahun ketiga, kegiatan menitik-beratkan pada pembuatan bahan dasar nanomaterial ramah lingkungan (*eco-nanomaterial*) dengan memanfaatkan sumber daya alam 30% serta sintesa bahan baru 70%. Teknologi fabrikasi pada tahap ini sudah mengarah pada teknologi ramah lingkungan, seperti *eco-spray coating* (teknologi pelapisan semprot ramah lingkungan). Produk akhir dari kegiatan industri ini memanfaatkan bahan baru nanomaterial cerdas yang ramah lingkungan (*eco-smart nanomaterial*).

## **BAB VII**

# **IMPLEMENTASI ROAD MAP**

Roadmap penerapan nanoteknologi untuk mendukung industri nasional disusun untuk diimplementasikan. Efektifitas Implementasi roadmap akan ditentukan oleh pemenuhan prasyarat yang diperlukan, kelembagaan yang mengawalinya, dan program serta konsistensi penerapannya oleh pemeran utama.

### **A. PRASYARAT PENERAPAN ROADMAP**

Prasyarat untuk menjamin efektifitas penerapan roadmap dapat dikelompokkan menjadi prasyarat wajib dan prasyarat cukup.

#### **Prasyarat Wajib**

Prasyarat wajib merupakan prasyarat yang harus ada, sehingga roadmap tidak akan dapat berjalan tanpa keberadaannya. Ada empat syarat wajib, yaitu :

a. Status Roadmap

Roadmap harus berupa suatu dokumen legal yang didukung dan bersifat mengikat bagi semua pemangku kepentingan. Dengan demikian maka roadmap harus berbentuk produk hukum, minimal Peraturan Menteri yang bertanggung jawab membina sektor industri. Roadmap harus berkesinambungan, tidak dipengaruhi oleh pergantian penentu kebijakan.

b. Pendanaan/Investasi

Menerapkan roadmap mutlak memerlukan dukungan dana investasi baik untuk mengembangkan regulasi, melakukan riset teknologi, pengembangan infrastruktur, sampai dengan penggunaannya di industri. Sumber dana dapat berasal dari pemerintah maupun swasta. Karena investasi, baik yang sifatnya keras maupun lunak, melibatkan banyak pihak maka perencanaan pembangunan dan pemanfaatannya harus saling terpadu.

c. Dukungan SDM yang tangguh

Sumber Daya Manusia (SDM) merupakan elemen penentu dalam suksesnya realisasi suatu konsep. Penyediaan SDM yang tangguh sesuai dengan kebutuhan penerapan nanoteknologi akan sangat tergantung pada kebijakan sistem pendidikan nasional yang terencana dan terstruktur. Nanoteknologi merupakan ilmu yang bersifat

inter-disiplin dari keilmuan dasar; diperlukan jejaring yang dapat menjembatani saling keterhubungan antar disiplin keilmuan yang ada. Ketersediaan SDM yang tangguh selanjutnya perlu didukung oleh kebijakan pemberdayaannya yang efisien.

d. Ketersediaan Energi

Penerapan nanoteknologi yang diawali dengan penyediaan nano material tidak dapat dilakukan tanpa ketersediaan energi yang memadai.

### Prasyarat cukup

Prasyarat cukup merupakan prasyarat yang dapat mempercepat atau meningkatkan efektifitas dan efisiensi penerapan roadmap. Prasyarat cukup terdiri dari :

- Kebijakan antar Departemen yang harmonis

Kurang harmonisnya kebijakan antar Departemen akan menyebabkan tidak sinerginya hubungan antara pemerintah, industri dan peneliti. Hal ini akan berimbas kepada tidak efisiennya upaya penerapan roadmap karena beberapa hal seperti kebijakan pemerintah yang salah sasaran, hasil penelitian yang tidak dapat diterapkan dalam industri dan lain-lain.

- Edukasi dan Sosialisasi

Penyebarluasan tentang pentingnya peranan nanoteknologi dalam pengembangan industri nasional perlu dilakukan melalui edukasi sejak dini pada lingkungan pendidikan formal, dan sosialisasi secara luas kepada masyarakat.

- Regulasi pendukung penggunaan produk nano

Untuk mengurangi risiko dari penggunaan/penerapan nanoteknologi yang menyangkut aspek kesehatan publik, keamanan, lingkungan, dan resiko pemakaian perlu disusun regulasi yang mendukungnya.

- Kebijakan eksploitasi SDA

Diperlukan kebijakan eksploitasi SDA yang menjamin keseimbangan antara daya dukung lingkungan dan pertumbuhan ekonomi sehingga bahan baku nano material terjamin untuk waktu lama (berkelanjutan).

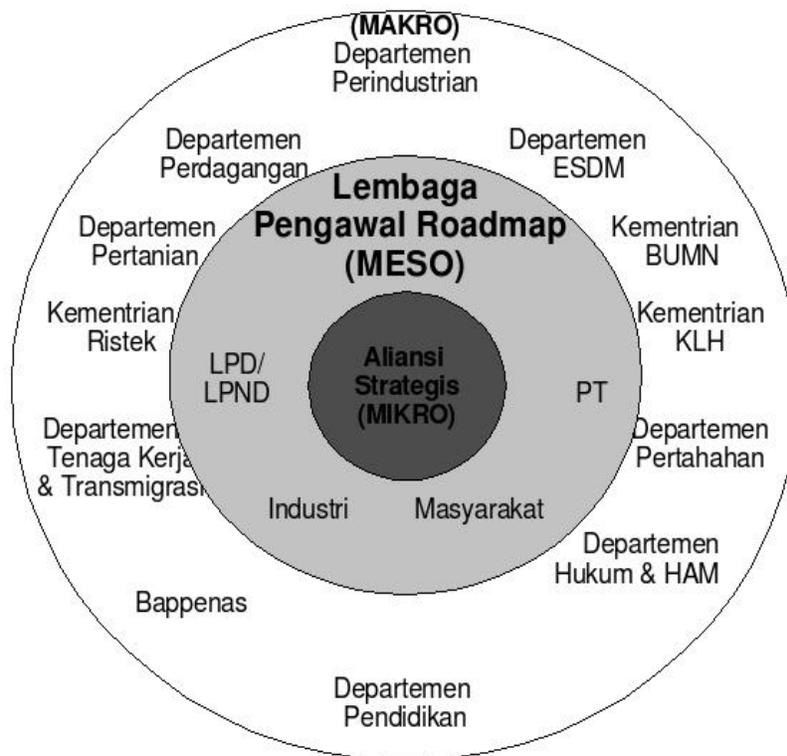
- Ketersediaan dan akses pasar yang memadai

Membuka dan memperluas akses pasar perlu dilakukan oleh seluruh *stakeholder* secara terpadu dan tersistem.

## B. KELEMBAGAAN PENGAWAL ROADMAP

Kelembagaan yang sesuai dan memadai sangat diperlukan untuk menjamin terpenuhinya prasyarat wajib dan prasyarat cukup. Melihat sifat prasyarat dan

kelembagaan yang saat ini membidangnya, maka kelembagaan dapat dibagi ke dalam Kelembagaan Makro, Meso dan Mikro (Gambar 7.1).



Gambar 7.1. Skema kelembagaan pengawal roadmap penerapan nanoteknologi di industri

### Kelembagaan Makro

Yang dimaksudkan kelembagaan makro di sini adalah sistem jejaring melalui koordinasi untuk meyakinkan terpadunya upaya dalam pemenuhan prasyarat wajib dan cukup, melalui berbagai kebijakan di tingkat nasional. Kelembagaan ini tidak perlu membentuk yang baru, tetapi dapat memanfaatkan yang sudah ada. Pada saat ini para pengambil kebijakan, dalam hal ini pimpinan Departemen khususnya yang membidangi sektor ekonomi, telah mempunyai kelembagaan koordinasi berupa Rakor Menko Ekuin. Kelembagaan ini sebaiknya dapat dimanfaatkan oleh Menteri yang membidangi sektor industri, yang menerbitkan roadmap, untuk mengintegrasikan pengembangan nanoteknologi di sektor industri ke dalam kebijakan masing-masing Departemen terkait.

### Kelembagaan Meso

Yang dimaksud kelembagaan meso di sini adalah sebuah lembaga yang bertugas untuk mengawal implementasi roadmap, yang disebut Lembaga Pengawal Roadmap (LPR), yang dibentuk oleh Kementerian yang mengeluarkan dokumen legal tentang Roadmap Nanoteknologi. Keanggotaan dalam LPR dapat memakai pola 3:3:3:1, yaitu 30% wakil pemerintah, 30% wakil peneliti/akademisi, 30% wakil industri/swasta, dan 10% wakil masyarakat/konsumen.

Secara garis besar tugas utama LPR ada tiga, yaitu:

- a. Mengkoordinasikan *stakeholders* nanoteknologi di Indonesia, khususnya lembaga atau institusi mikro yang melaksanakan penelitian, pengembangan dan memproduksi nano, agar dapat berjalan sesuai dengan roadmap yang sudah ada.
- b. Mengevaluasi secara berkala implementasi roadmap, dan bila diperlukan dapat mengubah roadmap secara dinamis agar sesuai dengan situasi dan kondisi terkini. Untuk itu perlu diadakan pertemuan sekurang-kurangnya setahun sekali.
- c. Memfasilitasi pembentukan kelembagaan mikro, yaitu terwujudnya aliansi peneliti dan industri, sehingga terjadi sinergi antara lembaga penelitian dengan dunia industri, sehingga hasil-hasil penelitian dapat dimanfaatkan secara optimal untuk memecahkan masalah-masalah yang dihadapi oleh industri. Pertemuan untuk mewujudkan aliansi tersebut, sekurang-kurangnya diadakan 2 - 3 bulan sekali.

### Kelembagaan Mikro

Yang dimaksud kelembagaan mikro di sini adalah aliansi strategis antara peneliti dan industri pengguna teknologi, dalam mengembangkan dan menerapkan nanoteknologi di industri. Aliansi peneliti-industri ini secara langsung atau pun tidak langsung akan mengarahkan penelitian dan penerapan nanoteknologi di Indonesia.

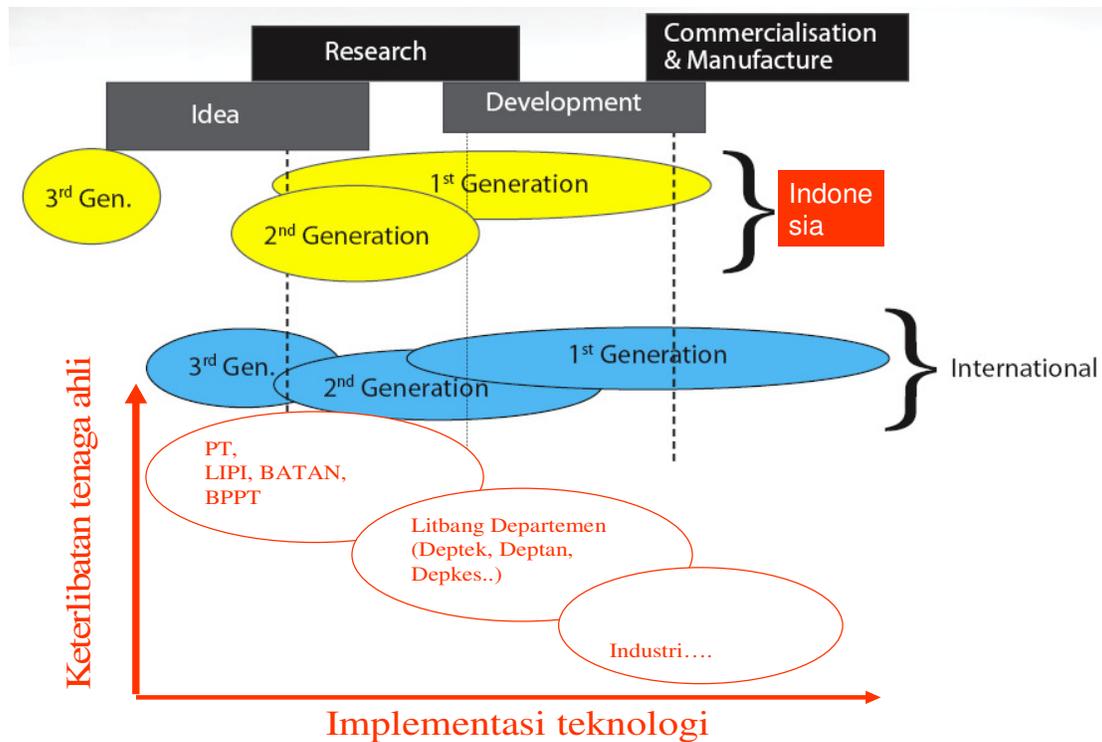
Gambar 7.1 menunjukkan sistem koordinasi kelembagaan yang akan mengawal roadmap pengembangan nanoteknologi untuk mendukung industri nasional berbasis sumber daya dan kemampuan teknologi lokal serta berdasarkan peluang dan kesiapan industri nasional. LPR, merupakan motor penggerak elemen-elemen yang ada yang terdiri dari pegiat-pegiat nanoteknologi seperti para peneliti baik yang berasal dari perguruan tinggi, lembaga litbang LPND dan Departemen serta para pegiat dari kalangan industri nasional. Tugas tambahan untuk LPR adalah: 1) melakukan inventarisasi potensi yang ada, 2) mendata sarana dan prasarana yang dibutuhkan, 3) melakukan pemberdayaan SDM dengan melibatkan berbagai *stakeholder* yang berhubungan

langsung dengan kegiatan nanoteknologi, 4) mengkoordinasi dan 5) menjadi pusat informasi nanoteknologi di Indonesia.

Masing-masing lembaga litbang berperan aktif dengan memberikan prioritas bagi penelitian nanoteknologi dan menjalin kerja sama dengan institusi lain dalam bentuk pemanfaatan fasilitas dan lain sebagainya untuk mendukung industri nasional. Sementara itu, berbagai pusat penelitian di departemen menjadi ujung tombak pengembangan teknologi yang akan ditransfer ke dalam industri yang telah diprioritaskan. Gambar 7.2 menunjukkan ilustrasi peran dari masing-masing institusi dalam perspektif implementasi nanoteknologi pada dunia industri melalui kelembagaan aliansi strategis.

Industri tidak melakukan penelitian dan pengembangan yang membutuhkan sumber daya yang besar, tapi dapat menggunakan hasil R & D dari lembaga litbang yang telah terkoordinasi. Industri difokuskan untuk menyiapkan strategi pengembangan produk-produk baru atau produk-produk lama yang telah diberikan sentuhan nanoteknologi sehingga meningkatkan nilai tambahnya yang pada akhirnya dapat bersaing pasar global.

Masing-masing kementerian dan departemen yang terlibat aktif (Kementerian Ristek, Departemen Perindustrian, Departemen Pertanian, Departemen Pendidikan Nasional) berperan sebagai pelindung dan sekaligus pemberi dana atas kegiatan tersebut. Berbagai kebijakan yang dikeluarkan antar departemen harus seirama dan saling mendukung demi terlaksananya roadmap yang telah dirumuskan dan disepakati bersama. Departemen lain yang secara tidak langsung mempengaruhi terlaksananya kegiatan ini, dapat berperan memberikan dukungan berupa kebijakan-kebijakan yang mengarah pada perlindungan dan pengawalan kegiatan roadmap ini. Dengan demikian sistem penguatan yang terintegrasi dengan melibatkan berbagai *stakeholder* yang kesemuanya saling berperan dapat meningkatkan kinerja industri nasional yang telah mendapat sentuhan nanoteknologi.



Gambar 7.2. Skema keterlibatan institusi dalam kelembagaan aliansi strategis

### C. PROGRAM DAN PEMERAN UTAMA IMPLEMENTASI

Nanoteknologi, sebagai tren teknologi di masa depan membutuhkan perhatian dari berbagai pihak dalam pengembangannya. Bentuk perhatian yang dapat dilakukan dan mendesak adalah menjadikan nanoteknologi menjadi program nasional. Nanoteknologi sebagai program nasional telah dilakukan oleh negara-negara yang telah terlebih dahulu menerapkan nanoteknologi. Hal ini tidak hanya dilakukan oleh negara-negara maju, tetapi juga telah dilakukan oleh negara-negara di kawasan ASEAN, seperti Malaysia, Thailand, dan Vietnam.

Program nanoteknologi nasional dijadikan agenda prioritas atas dasar suatu kesadaran dari para penentu kebijakan terhadap manfaat dan peluang-peluang bagi kemajuan daya saing industri nasional. Beberapa negara tersebut di atas berbondong-bondong memfokuskan kekuatannya untuk mengambil peran dan manfaat dari teknologi baru ini. Negara-negara tersebut menyusun agenda program, membentuk institusi pelaksana dan pendukung, mengalokasikan anggaran dan lain-lain. Aktifitas-aktifitas antara lain penelitian dasar, pengembangan produk, kajian risiko, kajian dampak, kajian regulasi, edukasi dan lain-lain dilakukan secara serentak di bawah koordinasi

langsung institusi yang bertanggung jawab di bidang pengembangan iptek. Semua bergerak serentak mengambil perannya masing-masing menuju era nanoteknologi.

Di Indonesia, setidaknya diperlukan keterlibatan berbagai institusi yang terkait langsung dengan pengembangan nanoteknologi antara lain, Departemen Perindustrian, Departemen Perdagangan, Departemen ESDM, LIPI, BPPT, LIPI dan litbang-litbang di Departemen Perindustrian dan Departemen ESDM. Selain itu, Perguruan Tinggi juga terlibat dalam hal pengembangan riset dari dunia akademik dan penyiapan SDM potensial. Industri, sebagai pihak yang menggunakan teknologi juga menjadi bagian terpenting dalam pengembangan nanoteknologi.

Selain yang telah disebutkan di atas, perlu dilakukan riset nanostruktur/nanopartikel/nanomaterial baru, menentulkan potensi aplikasi, komersialisasi produk dan *market entry*. Diperlukan juga standardisasi proses dan produk nanoteknologi, peningkatan SDM, edukasi *end-user*, peningkatan infrastruktur dan kesediaan *supply* energi. Hal penting lainnya adalah adanya partisipasi di forum internasional, pembentukan badan pengawal roadmap, dan forum *focus group discussion* menjadi rangkaian kegiatan dalam upaya penerapan roadmap nanoteknologi dalam rangka penguatan daya saing industri nasional.

Kegiatan-kegiatan yang telah dan akan diprogramkan (Tabel 7.1) yang berlandaskan kepada roadmap penerapan nanoteknologi di industri, roadmap penerapan nanoteknologi di industri tekstil, dan roadmap penerapan nanoteknologi di industri keramik, harus dilaksanakan dengan memperhatikan empat hal penting sebagai berikut:

- a. Urutan waktu yang jelas (mengacu kepada fase-fase 5 tahunan dalam masing-masing roadmap)
- b. Manajemen yang jelas (lihat Tabel 7.1, sesuai dengan institusi penanggung jawab kegiatan), dengan prinsip *POAC (Planning, Organizing, Actuating and Controlling)* atau sejenisnya, seperti *PDCA (Plan Do Check and Act)*.
- c. Tolok ukur keberhasilan kegiatan (dalam Tabel 7.1 masih dikosongkan karena menyangkut lintas departemen (kelembagaan makro dan meso).
- d. *Good governance* dalam pengelolaan butir a - c tersebut.

Tabel 7.1. Program Kegiatan dan Pemeran Utama Penerapan Nanoteknologi di Industri

Kegiatan	Institusi										Indikator Keberhasilan
	Departemen			LPND				Perg. Tinggi	Industri	MNI	
	Deperin	Depdag	Dep. ESDM	BPPT	LIPI	BATAN	BSN				
1. Legalisasi Roadmap	ooo										
2. Pembentukan Lembaga Pengawal Roadmap	ooo								oo	ooo	
a. Evaluasi dan Penyempurnaan Roadmap											
b. Forum Focus Group Discussion									oo	ooo	
c. Sosialisasi Roadmap											
3. Pembentukan Aliansi Peneliti-Industri	ooo		ooo	ooo	ooo	ooo		ooo			
4. Standardisasi Proses, Produk, Penanganan dan Manajemen	ooo	oo	oo	oo	ooo	oo	ooo	oo			
5. RDE (Research, Development and Engineering)	ooo		ooo	ooo	ooo	ooo		ooo	ooo	ooo	
6. Upaya Penetrasi pasar	ooo	ooo							ooo		
7. Peningkatan kemampuan SDM	ooo		ooo	ooo	ooo	ooo		ooo	ooo		
8. Peningkatan infrastruktur											
a. Pembentukan lembaga litbang nanoteknologi terapan	ooo										
b. Infrastruktur Litbang di Lembaga Penelitian Perouruan	ooo		ooo	ooo	ooo	ooo					
9. Ketersediaan suplai energi			ooo								
10. Partisipasi forum internasional	oo	oo	oo	oo	oo	oo	oo	oo	oo	oo	

## BAB VIII

# KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Berdasarkan pembahasan dalam bab-bab sebelumnya, telah tersusun Road Map Pengembangan Teknologi Industri Berbasis Nanoteknologi dilengkapi dengan strategi. Kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil penyusunan Road Map dimaksud, serta rekomendasi yang diusulkan adalah sebagai berikut:

### A. KESIMPULAN

1. Karena Teknologi terbukti dapat meningkatkan daya saing industri suatu negara secara signifikan, maka memasukkan teknologi sebagai elemen kunci dalam pengembangan industri menjadi suatu keharusan. Nanoteknologi yang diyakini memiliki peran sangat penting dalam memenangkan persaingan global yang semakin kompetitif, telah mendorong negara-negara di dunia untuk berlomba-lomba mengalokasikan dana dalam pengembangannya. Perkembangan / penggunaan nanoteknologi di industri terjadi dengan pesat dan diduga akan jenuh pada tahun 2020.
2. Indonesia adalah negara yang memiliki keunggulan komparatif berupa kekayaan Sumber Daya Alam (SDA), namun keunggulan itu masih belum banyak memberikan nilai tambah bagi daya saing bangsa. Untuk itu perlu dikembangkan kebijakan dan rencana penerapan nanoteknologi di sektor industri dengan mempertimbangkan keunggulan komparatif bangsa Indonesia, sebagai salah satu upaya meningkatkan daya saing bangsa dan mengejar ketertinggalan teknologi dari negara-negara di dunia.
3. Penyusunan Road Map dilakukan dengan menggunakan 2 pendekatan yaitu *technology push* dengan mempertimbangkan SDA yang tersedia dan kemampuan penguasaan teknologi, dan *market pull* yang berdasarkan pada kebutuhan dan permintaan pasar. Disamping itu dipertimbangkan pula faktor strategis yang akan terkait dengan penerapan Road Map Pengembangan Teknologi Industri Berbasis Nanoteknologi, termasuk isu perubahan global, lingkungan, standar, dan regulasi, sehingga dihasilkan Road Map Pengembangan Teknologi Industri Berbasis Nanoteknologi yang diharapkan dapat diimplementasikan secara *komprehensif* dan berkesinambungan.

4. Dari hasil survey dan kajian yang dilakukan terpilih 4 industri prioritas yaitu tekstil, keramik, kimia, dan pangan, yang potensial diterapkan nanoteknologi pada proses produksinya dengan mempertimbangkan kondisi pasar, teknologi, infrastruktur, dana, bahan baku, SDM, dan potensi resiko. Road Map yang sementara telah disusun adalah untuk industri tekstil dan keramik.
5. Dalam rangka efektifitas implementasi Road Map Pengembangan Teknologi Industri Berbasis Nanoteknologi pada dunia usaha ada 3 (tiga) hal pokok yang harus dilakukan yaitu pemenuhan prasyarat yang diperlukan, pembentukan kelembagaan yang mengawal, dan konsistensi penerapan oleh para stakeholder terkait.
6. Efektifitas implementasi Road Map Pengembangan Teknologi Industri Berbasis Nanoteknologi memerlukan prasyarat wajib (prasyarat yang harus ada), dan prasyarat cukup (prasyarat yang keberadaannya akan mempercepat atau meningkatkan efektifitas dan efisiensi implementasi Road Map). Prasyarat wajib adalah status road map, pendanaan/investasi, dukungan SDM yang tangguh, dan ketersediaan energy. Prasyarat cukup adalah kebijakan antar departemen yang harmonis, edukasi dan sosialisasi, regulasi pendukung penggunaan produk nano, kebijakan eksploitasi SDA, dan ketersediaan pasar (akses pasar) yang memadai.
7. Kelembagaan yang perlu dibentuk terdiri atas 3 (tiga) macam yaitu kelembagaan makro dengan sistem jejaring melalui koordinasi dan kebijakan tingkat nasional, kelembagaan meso yang bertugas mengawal implementasi Road Map Pengembangan Teknologi Industri Berbasis Nanoteknologi, dan kelembagaan mikro dengan sistem aliansi antara peneliti dengan industry pengguna teknologi.

## **B. REKOMENDASI**

Beberapa rekomendasi yang berkaitan dengan percepatan penggunaan nanoteknologi di sektor industry, khususnya untuk mengimplementasikan Road Map Pengembangan Teknologi Industri Berbasis Nanoteknologi yang telah tersusun, antara lain:

1. Perlu segera disusun road map untuk industri kimia dan pangan.
2. Kelembagaan pengawal penerapan Road Map Pengembangan Teknologi Industri Berbasis Nanoteknologi di industri perlu secepatnya diwujudkan sebagai langkah awal dalam memberikan jaminan terlaksananya implementasi Road Map yang telah disusun.
3. Road Map yang telah disusun perlu dijadikan dokumen legal yang memiliki kekuatan hukum, minimal dalam bentuk Peraturan Menteri Perindustrian sehingga bersifat mengikat bagi semua stakeholder terkait dan dapat memberikan kesinambungan tanpa terpengaruh oleh adanya pergantian kepemimpinan.

4. Perlu dirumuskan fasilitasi yang dapat mendukung penerapan nanoteknologi di sektor industri, baik dalam bentuk regulasi, fiskal, dukungan dana penelitian dan pengembangan nanoteknologi, pengembangan infrastruktur, dan sebagainya, untuk memberikan motivasi dan daya tarik bagi para pengguna teknologi (industri).
5. Dalam pengembangan regulasi pemanfaatan nanoteknologi yang menyangkut aspek kesehatan publik, keamanan, lingkungan, dan resiko dalam proses produksi dan pemakaian, maka perlu adanya harmonisasi kebijakan antar Departemen terkait sehingga tercipta sinergi antara peneliti, pemerintah, industri, dan konsumen.
6. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Industri yang telah memprakasai penyusunan kebijakan peta panduan (road map) pengembangan teknologi industri berbasis nanoteknologi dalam rangka mendukung klaster industri, disarankan berperan menjadi simpul seluruh kegiatan implementasi road map.

**ISBN 978-979-19492-0-0**